

Prosjekt damsikkerhet

Desember 1992 **Hovedrapport**



Prosjektansvarlige:
NVE Tilsyns- og beredskapsavdelingen (NVE-T)
Vassdragsregulantenes Forening (VR)

"Prosjekt Damsikkerhet" er et samarbeidsprosjekt mellom Norges vassdrags- og energiverk, ved Tilsyns- og beredskapsavdelingen, og Vassdragsregulantenens Forening. Prosjektet tar for seg de mest aktuelle sikkerhetsproblemer knyttet til eksisterende damanlegg for kraftverk og vannverk i Norge.

Denne hovedrapporten gir en oversikt over forhold som kan føre til sikkerhetsproblemer, og hvilke tiltak som kan gjennomføres for å bedre sikkerheten.

Prosjektet har resultert i flere delrapporter som allerede er publisert.

- Rapport nr. 1: Aldring og sikkerhet av betongdammer
- Rapport nr. 2: Beredskapsplanlegging for unormale situasjoner
- Rapport nr. 3: Sikkerhet av fyllingsdammer mot lekkasjebrudd
- Rapport nr. 4: Tilstopping av flomløp
- Rapport nr. 5: Overtopping av tetningskjernen i fyllingsdammer
- Rapport nr. 6: Funksjonsikkerhet ved
del I og II: flomluker
- Rapport nr. 7: Alkalireaksjoner i betongdammer

Det er også utgitt en sammendragsrapport på norsk og engelsk.

Forsidebildet viser dam Vinkelfallet, Midt-Gudbrandsdal Energiverk as, under flom 23. mai 1992.

Foto: Overingeniør Tormunn Skarstad, MGE.

Foto-opptak bakside: © Rune Listerud/Samfoto

ulle!
epost SVCPes

Prosjekt damsikkerhet

Desember 1992 **Hovedrapport**

Prosjektansvarlige:
NVE Tilsyns- og beredskapsavdelingen (NVE-T)
Vassdragsregulantenes Forening (VR)

FORORD

I de senere år har det vært en sterk reduksjon i utbygging av nye damanlegg for vannkraft og vannverk i Norge. En mulig konsekvens av dette kan bli at fagkunnskap om dammer og dambygging forfaller, og dette vil i så fall kunne få alvorlige konsekvenser for dammers sikkerhet. Et aktivt og våkent arbeid for å motvirke dette er nødvendig.

De som i fremtiden vil sitte med det øverste ansvar for driften av damanleggene vil ofte ikke ha byggeteknisk bakgrunn, og vil i stor grad heller ikke ha erfaring fra utbyggingsperioden for damanleggene. Det er fare for at deres oppmerksomhet i liten grad vil være rettet mot sikkerhetsmessige forhold knyttet til dammens konstruksjon og drift.

Damsikkerhet er et resultat av tekniske og etiske normer i et samspill med økonomi.

I en fremtid hvor kanskje dameieren pga. marked og intern ledelsesstruktur sterkere vil vektlegge økonomi, er det en fare for at de etiske sikkerhetsnormer blir skjøvet i bakgrunnen. De sporene vi ser etter vår skipsfart i denne sammenheng er skremmende.

Dammer kan i mange tilfelle ha en levetid på flere hundre år, men det betyr ikke at en dam i hele denne tiden vil fylle sin funksjon uten problemer. I virkelighetens verden skjer det feil, eller for å si det enda mer direkte: Alt kan gå galt.

Det finnes bare én måte å unngå uhellene på: Man må ha analyse-, kontroll- og sikkerhetssystemer som gjør at feil og svakheter oppdages i tide, og som gjør at de problemer som likevel oppstår blir løst før de får utvikle seg til mer omfattende ulykker.

Med oljevirkosomheten i Nordsjøen, og ikke minst med den stadig sterkere fokusering på miljøkatastrofer og andre faremomenter ved all industri og produksjon, er den generelle oppmerksomheten på disse spørsmål i samfunnet større enn noen gang tidligere. Oljeindustrien har også tatt i bruk andre analyseverktøy og sikkerhetsfilosofier som en kan hente impulser fra. Dette er bakgrunnen for at Prosjekt Damsikkerhet ble satt i gang.

Prosjektet har belyst situasjonen slik den er, sett på hva som kan gjøres for å bedre sikkerheten og stilt ideelle krav. En har ikke følt seg bundet til dagens regelverk.

I rapporten understrekes dameierens egen plikt til å kontrollere; en utbredt innstilling som at "sikkerheten er bra nok så lenge vi ikke hører noe fra det offentlige tilsyn" må bekjempes.

God sikkerhet forutsetter at hver enkelt dameier, alene eller i samarbeid med andre, tar vare på, utvikler og bygger opp nødvendig kompetanse, og at det legges opp systemer som dokumenterer både hvordan dammene opprinnelig ble konstruert og om og hvordan sikkerhetsmessige kontroller og vedlikeholdsarbeider blir og er blitt gjennomført.

Rapporten er inndelt i 4 hovedkapitler:

Del 1 gir et sammendrag av rapportinnholdet. Den tar videre for seg ansvarsforholdene og beskriver bl.a. hvordan en tenker seg en inndeling av dammer i grupper etter konsekvensene av eventuelle brudd.

Del 2 omhandler de fremste risikofaktorene, og gir en rekke forslag til sikkerhetstiltak og rutiner i forbindelse med drift av dammer.

Del 3 går inn på de viktigste tekniske emner for sikkerheten.

Del 4 (vedleggsdelen) inneholder bl.a. enkelte forslag til endringer i de nåværende damforskriftene.

Vår hensikt er først og fremst å sette i gang en utvikling hvor damsikkerhetsarbeider i større grad rettes inn mot problemstillinger som gjelder for eksisterende anlegg.

Vi håper at denne rapporten vil sette i gang en høyst nødvendig debatt i fagmiljøet, og at det kommer mange innspill og tilbakemeldinger. Dette vil forhåpentlig bidra til at sikkerhetsarbeidet blir bragt opp på et nivå som både de som er ansvarlige for dammenes sikkerhet og samfunnet rundt oss kan leve med.

Oslo, desember 1992

Styringsutvalg:

Bjarne Nicolaisen Jan Daleng Thorleif Hoff Dagfinn Lysne

Prosjektleder:

Svein Larsen

INNHold

Side

FORORD	1
INNHold	4
1. DAMSIKKERHET – ANSVAR OG KONSEKVENSER	5
1.1 Dammer og ulykker	5
1.2 Målgruppe	6
1.3 Sammendrag.....	6
1.4 Ansvar og arbeidsdeling.....	7
1.5 Internkontroll	9
1.6 Risikoanalysemetoder	10
1.7 Bruddkapasitetsvurderinger.....	14
1.8 Konsekvensavhengig sikkerhet, klassifiseringssystem for dammer	14
1.9 Behov for endring i damforskriftene	16
1.10 Rehabiliteringsbehov	17
2. DAMSIKKERHET I DRIFTSFASEN	19
2.1 Generelt	19
2.2 Planleggings- og byggedokumentasjon	22
2.3 Driftsrutiner.....	24
2.4 Beredskapsarbeid.....	25
2.5 Inspeksjonsrutiner	27
2.6 Instrumentering.....	28
2.7 Sikkerhetsvurderinger	29
2.8 Skade- og uhellsrapportering	31
2.9 Registering av ytre påkjenninger	34
2.10 Vedlikehold, reparasjon og ombyggingarbeider.....	34
3. TEKNISKE EMNER	35
3.1 Flomsikkerhet.....	35
3.2 Flomanalyse.....	36
3.3 Flomløpsanalyse	38
3.4 Tilstopping av flomløp	38
3.5 Driftssikkerhet ved manøvrerbare flomløp	41
3.6 Flomløp med sjakt/tunnel Dimensjonering og kapasitetsberegninger	47
3.7 Lekkasjer ved fyllingsdammer	48
3.8 Overtopping av fyllingsdammer.....	51
3.9 Aldring av betongdammer	53
3.10 Ras i magasin.....	56
4. VEDLEGG	61
Vedl. 1 Forslag til endringer i damforskriftene	61
Vedl. 2 Tilstopping av faste overløp.....	65
Vedl. 3 Funksjonssikkerhetsanalyser av manøvrerbare flomløp.....	69
Vedl. 4 Forslag til beregningsregler for flomløp med sjakt/tunnel	75
Vedl. 5 Undersøkelse om kapasitet ved eksisterende sjakt/tunnel flomløp	81
Vedl. 6 Internasjonal dambruddstatistikk	83

1 DAMSIKKERHET – ANSVAR OG KONSEKVENSER

Dette kapittelet starter med et sammendrag av innholdet i rapporten. Deretter setter vi søkelyset på hvor ansvaret ligger for den løpende kontroll med damsickekheten.

Vi tar for oss de forskjellige naturlige årsaker til skader og driftsuhell, og presenterer en del metoder for risikoanalyse.

Videre introduserer vi et forslag til en inndeling av norske dammer etter de konsekvenser et evt. brudd vil få for områder og befolkningsentra nær dammen.

Til slutt forsøker vi å gi en oversikt over dagens rehabiliteringsbehov for dammer ut fra sikkerhetsforhold.

1.1 Dammer og ulykker

Moderne norsk dambygging startet omkring århundreskiftet, da vi tok til å utnytte våre vannkraftressurser. Innledningsvis dominerte mur- og betongdammene, men særlig etter 1950 kom de store fyllingsdammene inn i bildet for fullt. I hele det aktuelle tidsrommet har norsk damteknologi holdt et høyt nivå, og dammene har hevdet seg godt internasjonalt med hensyn til kvalitet og sikkerhet.

Dambrudd vil kunne være stor katastrofe

Et vannmagasin bak en dam representerer et enormt energipotensiale som vil kunne forårsake katastrofale ødeleggelser dersom dammen bryter sammen.

For alle som tar del i etablering og drift av en dam er det selvsagt at sikkerheten ved en damkonstruksjon må være så høy at muligheten av et dambrudd oppleves som helt utenkelig.

Vi vet imidlertid at dambruddskatastrofer har skjedd, de skjer også i vår tid, og i høyt teknologisk utviklede land. I Norge har vi ikke hatt større damkatastrofer. Vi har imidlertid en rekke brudd på mindre dammer under 15 m høyde.

En dam kan ikke betraktes som et absolutt sikkert byggverk. Det er gjennom erkjennelse av at risikomomentene er tilstede at en kan arbeide for å fjerne og redusere risikomomentene slik at summen utgjør et akseptabelt nivå.

En må være forberedt på unormale driftssituasjoner

I den intense utbyggingsperioden vi har vært gjennom i de senere tiår, har begrepet damsickekhet i sterk grad vært knyttet til planlegging og bygging, der beregningsmetoder, laster, materialegenskaper og utførelse har vært nøkkelbegreper. Men damsickekhet avhenger også i sterk grad av hvordan vi overvåker, manøvrerer og tar vare på dammene, hvor godt vi forstår og er forberedt på ulike hendelser og situasjoner som kan oppstå i driftsfasen. Det er særlig dette som var bakgrunn for NVE i 1987, da de tok initiativ til et samarbeidsprosjekt med VR og dameiere om damsickekhet. Forprosjektet utga rapporten: "Risikoanalyse for dammer" i 1987 og selve hovedprosjektet startet med etablering av et styringsutvalg høsten 1988.

Prosjektlederen tiltrådte i april 1989, og fra da av kom det praktiske arbeidet i gang. Prosjektet ble avsluttet i 1992.

Styringsutvalget har bestått av:
 Sjefingeniør Bjarne Nicolaisen, NVE (form.).
 Sjefingeniør Jan Daleng, VR.
 Prof. Dagfinn Lysne, Inst. for vassbygging, NTH.
 Sjefingeniør Thorleif Hoff, Statkraft.
Prosjektleder har vært sivilingeniør Svein Larsen.

Prosjektet har tatt utgangspunkt i dagens situasjon og har foreslått opplegg for hvordan damsikkerheten i driftsfasen kan ivaretas, og en har fått utredet ulike spørsmål som har betydning for damsikkerheten i driftsfasen, slik som aldring, flomavledning, overtopping, lekkasjer, funksjonssikkerhet av flomluker og beredskapsplanlegging. Dessuten behandles erfaringsinnsamling, dambruddstatistikk og risikovurderinger.

Enkelte tema behandles i egne delrapporter. I denne hovedrapporten er samlet stoff om både de emner som tas opp i delrapportene, og andre emner som damsikkerhetsprosjektet har tatt opp til behandling.

1.2 Målgruppe

- Alle kategorier dameiere representert ved de personer som har ansvar for planlegging, bygging, drift, tilsyn og vedlikehold av dammer.
- Rådgivere som gir assistanse til dameiere.
- Offentlig myndighet som har forvaltningsansvar for dammers sikkerhet.
- Offentlig myndighet som har ansvar for redningstjeneste ved katastrofer.

1.3 Sammendrag

1.3.1 Ansvarsforhold

Både dameier og NVE-T har ansvar for damsikkerheten, og det er viktig at rollemønster, arbeidsdeling og type av ansvar er kjent og gjensidig respektert mellom de to parter.

I mange tilfelle vil det eksistere et reellt rollemønster som avviker fra det formelle. Dette kan føre til uklarheter og svekkelse av damsikkerheten.

Dameieren har hovedansvar for at damsikkerheten er på et tilstrekkelig nivå, og han må selv ta initiativ for å gjennomføre de oppgaver som er nødvendig for dette.

NVE-T skal på vegne av almenheten føre tilsyn med at dameieren gjennomfører de nødvendige oppgaver, og at dammene har et tilstrekkelig sikkerhetsnivå. Ved innføring av nye begreper som f.eks. internkontroll kan det oppstå uklarheter om rollemønster og arbeidsdeling.

1.3.2 Sikkerhetsprogram for eksisterende dammer

Ansvar for en dams sikkerhet ligger hos dameier, og for å ivareta dette ansvar må han gjennomføre en rekke aktiviteter som bør være fastlagt i et sikkerhetsprogram. I kapittel 2 har vi foreslått innhold i sikkerhetsprogrammer for eksisterende dammer.

I forhold til dagens praksis inneholder det enkelte nye elementer:

- Beredskapsplanlegging for unormale situasjoner.
- Sikkerhetsrevurderinger.
- Lastregistreringer.
- Skade- og uhellrapportering.
- Risikoanalyser.
- Bruddsansynlighetsbetraktninger og utredninger om bruddkonsekvens.

Dameier har hovedansvar for dammers sikkerhet

Dameier må ha et sikkerhetsprogram

Sikkerhetsrevurderinger må gjennomføres når sikkerhetsnormene endres.

1.3.3 Sikkerhetsrevurderinger

Et sentralt element i et sikkerhetsprogram er å foreta sikkerhetsrevurderinger. I kapittel 2.7 er dette nærmere omtalt.

Det er spesielt viktig at sikkerhetsrevurderinger blir gjennomført når sikkerhetsnormer o.l. blir endret.

Sikkerhetsrevurderinger gjennomføres med tanke på konkrete fysiske farer.

I prosjektet har vi spesielt behandlet følgende:

- Sikkerhet mot brudd p.g.a. flom.
 - Flomlaster (Q_{1000} og PMF).
 - Tilstopping av flomløp.
 - Funksjonsvikt ved manøvrerbare flomløp.
 - Kapasitetsvurderinger av sjakt/tunnelflomløp.
 - Overtopping av fyllingsdammer.
- Lekkasje ved fyllingsdammer.
- Ras i magasin.
- Aldring av betongdammer.

1.3.4 Konsekvensavhengig sikkerhet

Det er grunn til å anta at et brudd på en av våre store dammer vil kunne representere en ulykke av verste tenkelige dimensjon i Norge, mens et brudd en av på våre mindre dammer vil kunne skje uten at særlig stor skade skjer.

Vi foreslår derfor at dammer klassifiseres etter sin bruddkonsekvens og at tilstrekkelig sikkerhets-standard fastlegges i.h.t. bruddkonsekvensen.

Bruddkonsekvensen bør innvirke på standarden vedrørende:

- Dameiers sikkerhetsprogram.
- Dameiers organisasjon og kompetanse.
- Krav knyttet til ulykkeslaster.
- Omfang av NVE-T's tilsyn.

Stort ulykkespotensiale krever stor sikkerhet

1.4 Ansvar og arbeidsdeling

Det er naturlig å inndele damsikkerhetsarbeidet i 2 hoveddeler.

Den første gjelder arbeidet som er direkte knyttet til enkelte damanlegg.

Den andre omfatter en generell del som indirekte er til nytte i sikkerhetsarbeidet for det enkelte anlegg.

Det vil være et naturlig samspill mellom de to delene ved at erfaringer fra enkelte dammer påvirker og gir bakgrunn for innholdet i den generelle del. Både hva gjelder lover, forskrifter og retningslinjer, normer og erfaringer.

Omvendt vil innholdet i den generelle del danne basis for sikkerhetsarbeidet for det enkelte damanlegg.

■ Det er 2 hovedparter som idag har ansvar for damsikkerhet.

- Dameier
- NVE Tilsyns og beredskapsavdelingen (NVE-T)

Det er viktig for damsikkerheten at rollemønster, arbeidsdeling og type av ansvar er kjent og gjensidig akseptert mellom de 2 parter.

I slike forhold vil en ofte kunne finne at det eksisterer et reelt rollemønster som avviker fra det formelle. Blir avviket for stort kan det føre til svekkelse av damsikkerheten.

Ansvars- og arbeidsdeling mellom dameier og NVE må være klart

Dameier	<p>1.4.1 Sikkerhetsarbeid for det enkelte damanlegg Den enkelte dameier har hovedrollen i dette damsikkerhetsarbeidet fordi: <i>Den enkelte dameier skal sørge for at damsikkerheten er på et tilstrekkelig nivå for de dammer han eier.</i></p>
NVE	<p>NVE-T's rolle er diktert ut fra deres hovedoppgave: <i>NVE-T skal på vegne av almenheten kontrollere og gi dameier godkjenning for at sikkerheten av hans dammer er tilstrekkelig.</i></p> <p>Et viktig element i damsikkerhetsarbeidet er å fastlegge hva som er et tilstrekkelig sikkerhetsnivå. Begge parter har et selvstendig ansvar for dette. Sikkerhetsnivået og dameiers arbeidsoppgaver blir av dameier selv fastlagt på grunnlag av:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Lover og forskrifter. 2. Norsk Standard. 3. Generelle anbefalinger eller retningslinjer utarbeidet av NVE, dameierorganisasjoner o.l. 4. Interne bedriftsretningslinjer. 5. Uskrevne generelle faglige normer. 6. Direkte krav eller ønske fra NVE-T vedr. den enkelte dam. 7. Dameiers egen vurdering og skjønn vedr. den enkelte dam.
Generelt grunnlag	<p>1.4.2 Generelt sikkerhetsarbeid Den generelle del av damsikkerhetsarbeidet består i å utvikle og vedlikeholde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lover, forskrifter. • Damforskriftenes del II, regler og anbefalinger. • Norske standarder. • Retningslinjer, normer, erfaringer.
Ansvar er hos NVE	<p>NVE-T har hovedansvaret for lover, forskrifter og damforskriftenes del II. Utvikling og vedlikehold av dette bør imidlertid skje i et nært samarbeid med dameierorganisasjonene, dameierne og bransjens øvrige ressurser (rådgivende ingeniørfirma, forskningsinstitutter, leverandører og entreprenører).</p>
Samarbeid	<p>I utvikling og vedlikehold av uformelle retningslinjer, normer og erfaringer deltar alle i bransjen, men det synes naturlig at hovedansvar for dette faller hos dameierorganisasjonene og NVE-T.</p>
	<p>1.4.3 Krig, sabotasjelaster Det har dannet seg den praksis at sikkerhetsnivået for denne type laster blir fastlagt av myndighetene. Denne oppgave var opprinnelig lagt til KSFN, men ligger nå hos NVE-T. Tradisjonelt har sikkerhetsnivået blitt fastlagt for den enkelte dam gjennom detaljerte pålegg vedr. utførelsen.</p>
	<p>1.4.4 Lover og forskrifter To lover står sentralt når det gjelder damsikkerhet.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vassdragsreguleringsloven (lov av 14.12.1917 nr. 17 om vassdragsreguleringer) med endringer. • Vassdragsloven (Lov av 15.03.1940 nr. 3 om vassdragene) med endringer. <p>Lovene fastlegger hovedprinsipper, men gir ingen anvisning på hva som er tilstrekkelig sikkerhet.</p>
	<p>Vassdragsloven danner utgangspunkt for 2 forskrifter.</p> <ul style="list-style-type: none"> • "Forskrifter for dammer" (damforskriftene) ble gjort gjeldende fra 1.1.1981. <p>Dette er i hovedsak en teknisk forskrift for planlegging og bygging av dam-</p>

Nye anlegg Teknisk forskrift

mer, og den inneholder detaljerte sikkerhetskrav. Forskriftens kap. 5 inneholder krav vedrørende driftsfasen. Disse er mer generelt utformet enn kravene knyttet til planlegging og bygging, og kapittel 5 har heller ingen detaljanbefalinger i damforskriftenes del II.

"Forskrifter for dammer" gjelder formelt for dammer bygget etter 1981, og forskriftene inneholder ingen særskilte bestemmelser om dammer bygget før dette. Ved ombygging av gamle dammer vil forskriften gjelde. For dammer bygget før 1981 vil forskriftens bestemmelser fungere som en faglig norm.

- "Forskrifter for tilsyn med anlegg i vassdrag" ble gjort gjeldende fra 4.2.1992. Forskriften gir i hovedsak bestemmelser om det offentlige tilsynet med dammer som forstås av NVE-T.

Eldre anlegg

For eiere av eldre dammer (bygget før 1981) innebærer forskriftene at drift og vedlikehold skal gjennomføres på en forsvarlig måte og i samsvar med pålegg fra NVE-T. Det sies intet om hva som er forsvarlig måte, men et driftsopplegg tilsvarende kravene i damforskriftenes pkt. 5.3 "Opplegg for drift" vil danne en norm.

For dammer som ikke er underlagt offentlig tilsyn etter meddelte vassdragskonsesjoner eller tillatelse etter vassdragsloven skal dameier sende inn planer, opplysninger og programmer vedrørende utførelse, drift og vedlikehold til NVE-T til vurdering og godkjenning.

Det hadde vært en fordel om forskriftene inneholdt et klart pålegg til alle dameierne om innsendelse av slikt nødvendige materiale til NVE, dersom det ikke tidligere var oversendt.

1.5 Internkontroll

"Forskrifter for tilsyn med anlegg i vassdrag" ble endret ved kongelig resolusjon av 10.01.92, og endringen er gjort gjeldende fra 4.2.92.

Forskriftens § 4 sier:

"Anleggseier kan pålegges krav om internkontroll og internkontrollsystemer for å sikre at krav fastsatt i denne forskrift overholdes".

Det har etter forskriftens innføring vært usikkerhet og ulik oppfatning i bransjen om hva dette innebærer.

Bakgrunnen for dette er følgende:

Generell internkontroll

Begrepene "Internkontroll" og "Internkontrollsystemer" er knyttet til "Forskrift for internkontroll" som ble innført 1. jan. 1992. Den gjelder for alle bedrifter og offentlige virksomhet.

Internkontrollforskriftens intensjon er at bedriftene selv skal tilrettelegge for og gjennomføre en systematisk kontroll av at gjeldende forskriftfastlagte krav innen helse, miljø og sikkerhet blir fulgt. De enkelte tilsynsvirksomheter vil samordne sitt arbeid, og vil i stor grad gå bort fra detaljkontroll.

Internkontrollforskriften gjelder for et utvalg av lover (med forskrifter) og de tilhørende tilsynsetatene. Lover (forskrifter) som regulerer damsikkerhet og NVE-T's tilsynsvirksomhet innen dette felt er *ikke* omfattet av internkontrollforskriften.

Reglene om internkontroll er fastlagt gjennom et omfattende utredningsarbeid (NOV 1987: 10 og 32, O.t. prp. nr. 48 (1989-1990), innstilling nr. 43 (1989-1990)).

Internkontroll i vassdragsbransjen

Innføring av "internkontroll" i "Forskrifter for tilsyn med anlegg i vassdrag" har skjedd uten noen særlig grad av vurdering om hva dette ville innebære for dameier, NVE-T og damsikkerheten. Departementet har bemerkninger som knytter dette sammen med den generelle bruk av internkontroll.

Vassdragsbransjen og NVE har i felleskap satt igang "prosjekt internkontroll" for å lage retningslinjer for hva et internkontrollsystem skal inneholde og hvordan det skal fungere. Retningslinjene vil foreligge i midten av 1993.

Driftsforskrift

Innen feltet damsikkerhet har vi i dag et omfattende forskriftsverk som setter krav til dameieren ved planlegging og bygging av en dam. Internkontrollsystemer som bidrar til å sikre at disse krav blir overholdt har en klar oppgave. Å klarlegge dameierens og NVE-T's oppgaver og rolle i dette kontrollarbeidet bør være en naturlig del av "internkontrollprosjektet".

Når det gjelder krav til dameier under driftsfasen er forskriftsverket i dag meget magert. Dameier har ansvar for damsikkerheten i driftsfasen men det er i liten grad forskriftsbestemt hva dette innebærer. For at et internkontrollsystem skal ha noen mening er det en forutsetning at nærmere krav blir fastlagt i en driftsforskrift for dammer. Dette bør skje gjennom det vanlige forskriftsverket, og ikke gjennom "internkontrollregler". "Internkontroll" er ikke å fastlegge kravene som skal overholdes, men å utforme et opplegg som skal sikre at kravene blir etterlevet.

"Internkontroll" i sin egentlige betydning innebærer bl.a. også at tilsynsetaten (NVE) mer skal legge om sin virksomhet fra å kontrollere dammene til å kontrollere dameieres internkontrollopplegg.

Vurdering av konsekvensene for damsikkerheten ved en slik omlegging bør vurderes nærmere før en fastlegger dette som det offentlige tilsynsmønster. Våre største dammer representerer så store ulykkespotensialer at det er rimelig at NVE med visse intervall selvstendig vurderer slike dammers sikkerhet.

NVE's tilsynsopplegg

En vurdering av NVE's tilsynsopplegg i et fremtidig internkontrollopplegg bør gjennomføres i "Internkontrollprosjektet". Dersom NVE's fremtidige tilsynsopplegg ikke samsvarer med andre tilsynsetaters internkontrollopplegg bør NVE benytte en annen betegnelse enn "internkontroll" på sitt opplegg for å unngå misoppfatninger.

1.6 Risikoanalysemetoder

1.6.1 Generelt

Beregnet risiko uttrykker en kombinasjon av sannsynlighet for uønskede hendelser (dambrudd) og omfanget av konsekvensene forbundet med hendelsene (skadene som følge av dambruddet). Risikoen kan angis ved enkle tallverdier dersom konsekvens og sannsynlighet kan tallfestes, eller ved å beskrive et sett hendelser med tilhørende konsekvens.

I damsikkerhetsarbeid kan bruk av risikoanalysemetoder gi en bredere basis for å klarlegge risiko forbundet med dammer enn de tradisjonelle måter å fremstille sikkerhet.

1.6.2 Konsekvensanalyser for dambrudd

En konsekvensanalyse for dambrudd vil bestå av tre deler.

1. Utløpsvannføring fra magasinet.

Denne vannføring/tid kurve vil være utgangspunkt for de vurderinger som gjøres om skadene nedstrøms. Skadebildet vil i mange tilfelle helt avhenge av hvilke forutsetninger som gjøres vedrørende utløpsvannføringen.

De avgjørende faktorene vil være:

- Bruddåpningens maksimale utstrekning, og utviklingen av bruddet.
- Magasin vannstand.
- Tilløpsflommens størrelse.

En bør basere beregningen på en konkret bruddsituasjon, og velge forutsetninger som er ugunstige, men innen realistiske rammer.

Hydraulisk vurdering av forholdene ved dammen

2. Bruddbølgeberegning/vurdering.

De viktigste parametre å klarlegge er:

- Maksimal vannføring nedover i vassdraget med tilhørende vannhøyder.
- Tid fra dambrudd til bølgefront og maksimal vannføring opptrer.
- Bølgefrontens karakter.

Det vil i alle tilfelle være knyttet store usikkerheter til resultatet av slike beregninger. Kravet til nøyaktighet avhenger av hva beregningen/vurderingen skal nyttes til. I mange tilfelle vil en enkel vurdering være tilstrekkelig. Dette vil især være tilfelle ved mindre dammer i ubebodde strøk, og i de tilfelle det er kort vei ned til nedenforliggende magasin. I enkelte tilfelle kan det være ønskelig å benytte avansert regneverktøy for å fastlegge bruddbølgens utstrekning nedover i vassdraget. I alle tilfelle kreves stor hydraulikkompetanse for å gjennomføre slike beregninger.

Ved en vurdering må det klargjøres om en forutsetter at dambrudd skjer i en flomsituasjon.

3. Skadekonsekvensvurdering

På grunnlag av bruddbølgevurderingen må en gjennomføre en skadekonsekvensvurdering. Dette er nærmere omtalt i kap. 1.8.

Hensikt

Konsekvensanalyser kan ha følgende hensikt:

- *Inngå sammen med en sannsynlighetsanalyse for å gi et samlet tallmessig uttrykk for risiko ved enkeltdammer eller for grupper av dammer.*

Risiko for:

- Tap av menneskeliv.
- Økonomiske tap.

Denne bruk av konsekvensanalyser anses aktuell kun for et fåtall av våre største dammer.

- *Klarlegge dammens plassering i et konsekvensklassifiseringssystem.*

Tanken er at konsekvensklassen skal påvirke de krav som settes til den enkelte dam. I første rekke tenkes på krav vedrørende PMF og andre ulykkeslaster, og krav vedrørende tilsyns/beredkapsopplegg. Det vises til kap. 1.8.

Konsekvensklassen kan også inngå i en dambruddforsikringsordning, hvor forsikringspremie gjøres avhengig av konsekvensklassen.

- *Inngå som en del av et beredkapsopplegg vedrørende unormale situasjoner.* Det å ha en oversikt over sannsynlige konsekvenser av et dambrudd må anses å være meget viktig for å kunne redusere skadeomfanget i krisesituasjoner. Det vises til kap. 2.4.

■ Arbeidsdeling mellom NVE-T og dameierne

Beregninger av dambruddbølger og dambruddkonsekvenser har tradisjonelt vært utført av det tidligere KSFN, som nå utgjør beredkapsseksjonen i NVE-T.

Vi anser at dameierne selv bør ha ansvar for å gjennomføre slike vurderinger. En kan imidlertid ikke forvente at et slikt arbeid vil bli tatt opp av dameierne uten at en nærmere avklaring i spørsmålet har kommet fra NVE-T.

Vi foreslår følgende:

- Dameierne utarbeider en enkel dambruddkonsekvensanalyse for sine dammer (maks 3 sider).
- NVE-T fastlegger med dette som grunnlag dammens dambruddkonsekvensklasse, og de vurderer om nærmere analyser er nødvendig.
- Tidligere utførte analyser blir aktivt gjort tilgjengelig for dameierne.

Arbeidsdeling mellom
dameier og NVE vedrørende
konsekvensutredning
må klarlegges

Det bør også være et alternativ å gjennomføre konsekvensanalysene i et prosjekt eller en arbeidsgruppe.

1.6.3. Sannsynlighetsanalyser for dambrudd

Internasjonale erfaringer

■ Analyser basert på erfaringstall for dambrudd

Internasjonale erfaringstall for dambrudd gir verdifull informasjon vedrørende dambruddshyppighet avhengig av:

- Damtype.
- Alder på dam.
- Dammens byggeår.
- Utløsende bruddårsak.
- Geografisk beliggenhet.

Analyser bygget på slike generelle erfaringstall kan gi bidrag til en oppfatning av sannsynlighetsnivå for dambrudd for en gruppe dammer. Det er liten hensikt å gjennomføre analyser for enkeltdammer kun basert på slike generelle erfaringstall. Det kan imidlertid være aktuelt å benytte slike erfaringstall for enkelte bruddårsaker i kombinasjon med andre metoder.

Vedlegg 6 inneholder data om sannsynlighetsnivåer for dambrudd basert på internasjonale erfaringstall.

■ Analyser basert på vurderte konstruksjonsavhengige bruddlaste, og en vurdering av sannsynlighet for at disse skal opptre.

Analyseprinsippet kan benyttes for utløsende bruddårsaker som:

- Høy vannstand.
- Bølgepåkjenning.
- Lekkasje.

Slike analyser er meget velegnet for å få fram forskjeller i sikkerhetsnivå for fyllingsdammer med ulik damutforming, ulik magasindrift og ulike typer flomløp. Analysen kan suppleres med erfaringstall for andre bruddutløsende faktorer.

Hvor høy vannstand skal til for at dammen går til brudd

■ Høy vannstand

Dammens bruddgrense for vannstandbelastning fastlegges. Dette er den høyeste vannstand dammen kan tåle uten at brudd inntreffer. Det vises til kap. 3.8 og delrapport 5.

Sannsynlighet for opptreden av bruddvannstand fastlegges. Denne bestemmes ved å ta hensyn til følgende forhold.

- Sannsynlighet for naturlig tilløpsflom.
- Sannsynlige overføringer.
- Forventet sannsynlighet for magasinnivå lik HRV.
- Flomløpets avledningskapasitet ved ulike vannstander.
- Usikkerhet ved bestemmelse av flomfrekvenser, avledningskapasiteter og bruddvannstander.

Hvordan kan vannstanden oppstå, og hva er sannsynligheten

■ Bølgepåkjenning

Bruddbølgekapasitet fastlegges for dammen. Bruddpåkjenningen angis ved kombinasjon av signifikant bølgehøyde (H_s) og varighet, og bør bestemmes ut fra følgende forhold:

- Dammens evne til å motstå skade på oppstrøms skråning avhengig av:
 - Steinstørrelse.
 - Antall lag.
 - Forbandvirkning.
- Dammens evne til å motstå fullstendig bortvasking over HRV dersom skade oppstår i oppstrøms skråning. Dette er avhengig av:
 - Fribord fra topp dam til HRV.

<p>Hvor store bølger skal til for å få dammen til å gå til brudd</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Steinstørrelse i kronevern. - Bredder på damtopp. • Dammens evne til å motstå bølgeoverskylling over topp dam. <ul style="list-style-type: none"> - Fribord fra topp dam til HRV. - Steinstørrelse i kronevern og øvre del av nedstrøms skråning. - Steinstørrelse i damtå.
<p>Sannsynlighet</p>	<p>Sannsynlighet for opptreden av bruddbølgepåkjenning fastlegges ved å ta hensyn til følgende forhold:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sannsynlighet for vindhastighet/varighet i ugunstig retning (100^g sektor). • Forhold mellom vindhastigheter over vann og land. • Magasinets effektive strøk.
<p>Hvor store lekkasjer tåler dammen</p>	<p>Skader på skråningsvern har forekommet ofte i Norge, og det er blitt utført mange utbedringer. En nærmere teoretisk analyse av sannsynlighetene for dambrudd pga. bølgepåkjenning bør av denne grunn prioriteres.</p> <p>Sammenheng mellom vindhastighet/varighet og sannsynlighet må Meteorologisk institutt angi for soner av landet og muligens avhengig av høyde over havet.</p> <p>■ Lekkasjer</p> <p>Sannsynlighet for brudd som følge av lekkasje egner seg ikke i samme grad å behandle individuelt for hver dam som de ovennevnte bruddårsaker.</p> <p>Bruddlekkasje, dvs. størrelsen på den vannmengden damtåen kan lede ut av dammen uten at brudd skjer, kan bestemmes særskilt for hver dam.</p> <p>Sannsynligheten for at lekkasje av en viss størrelse skal opptre og utvikles til brudd er vanskeligere reelt å bestemme for hver dam.</p> <p>En kan imidlertid sette opp visse standardsannsynligheter som tar hensyn til enkelte forhold ved dammene.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Max damhøyde. • Grovhet på filter. • Evt. tidligere lekkasjeuregelmessigheter. • Evt. konstruksjonsgjennomføringer, ekstremt bratte dalsider. • Lekkasjeovervåking. • Dammens alder. <p>Det vises til kap. 3.7 og delrapport 3.</p>
	<p>■ Analyser basert på sannsynligheter for svikt av enkeltdeler som fører til dambrudd</p> <p>Analyse av lukemanøvreringssvikt er en slik analyseform. Analysens svakhet er mangelfullt grunnlag for å angi sannsynligheter. Den tallmessige konklusjon på sannsynligheter er derfor usikker. Analyser er imidlertid av verdi for å klargjøre følgende forhold:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hvilke hendelser som kan føre til lukemanøvreringssvikt, og hvilke reservessystem en i praksis kan legge opp til. • Størrelsesorden på sannsynlighetene for dambrudd pga. lukemanøvreringssvikt. <p>Det vises til kap. 3.5 og delrapport 6.</p>
	<p>■ Hva slags analyser bør gjennomføres</p> <ul style="list-style-type: none"> • For eksisterende og nye dammer med luker som flomorgan bør dameier gjennomføre en sannsynlighetsanalyse for lukesvikt. • For dammer som ikke klarer å avlede PMF bør dameier ved en analyse klargjøre sannsynlighetsnivået for dambrudd som følge av flom.

- For dammer med store bruddkonsekvenser bør dameier gjennomføre sannsynlighetsanalyser for brudd som følge av overtopping/bølger.

1.7

Bruddkapasitetsvurderinger

En bør i større grad klarlegge mulige bruddsituasjoner

Sikkerheten ved dammer har tradisjonelt vært analysert og uttrykt ved dimensjonerende situasjoner og laster. Ved å analysere bruddsituasjoner vil en kunne få et mer direkte uttrykk for sikkerheten mot enkelte hendelser da dammer kan ha forskjellig evne til å tåle påkjenninger utover den dimensjonerende situasjon.

■ Følgende vurderinger av bruddkapasitet bør gjennomføres

- Dammens evne til å tåle høye magasin vannstander uten å gå til brudd.
- Dammens evne til å tåle sterk vind og bølger uten å gå til brudd.
- Dammens evne til å tåle store lekkasjer uten at brudd inntreer.
- Dammens evne til å tåle store ras ned i magasinet uten at brudd inntreer.

For alle nyanlegg bør det bli standard å gjennomføre slike bruddkapasitetsvurderinger.

For eksisterende anlegg bør det avhengig av bruddkonsekvensene gjennomføres slike vurderinger.

1.8

Konsekvensavhengig sikkerhet, klassifiseringssystem for dammer

Det er meget store forskjeller i bruddkonsekvenser

1.8.1 Bakgrunn

Vi kan regne med at det i Norge finnes omkring 2500 dammer som har slik størrelse på damlegeme eller magasin at de kommer inn under NVE-T's tilsyn.

Størrelsen på disse dammene spenner fra 2 m til 140 m høyde. Det er grunn til å anta at et brudd på en av våre store dammer med stort skadepotensiale vil representere en ulykke av verste tenkelige dimensjon i Norge. Brudd på en av våre mindre dammer vil imidlertid kunne skje uten at noe særlig stor skade skjer. Med dette som bakgrunn burde det synes selvsagt at de målsettinger som bør stilles til sikkerhet ved damanlegg burde variere avhengig av skadepotensiale ved dambrudd.

Dameiers og rådgivers holdning til sikkerheten ved det enkelte damanlegg har nok vært styrt eller påvirket av en slik filosofi, men den har ikke fått gjennomslag som et prinsipp i damforskriftene.

De krav som er blitt stilt til dammer av hensyn til krig, sabotasjetrusel o.l. har imidlertid vært som en følge av en bruddklassifisering. Denne har omfattet ca. 200 dammer, og en har hatt 3 ulike klasser.

1.8.2 Hensikt

Hensikten med en klassifisering er å få en inndeling av damobjektene i grupper hvor det er naturlig å stille noenlunde ens krav for dammene innen den enkelte gruppe.

1.8.3 Kriterier

Skadepotensialet ved et dambrudd vil bestå av flere elementer, og en vurdering av skadepotensiale vil alltid måtte bygge på en noe skjønnsmessig vurdering med basis i en dambruddbølgevurdering.

De viktigste faktorene bør være:

Omfang av bebyggelse

Kritisk område

■ Sannsynlig tap av menneskeliv

Dette bør vurderes ut fra antall bolighus og i en viss grad antall fritidshus beliggende i det kritiske området. (10 fritidshus = 1 bolighus). Det kritiske området vil være den del av dalen nedstrøms dammen hvor en dambruddbølge vil kunne komme så brått at et naturlig varsel gjennom vannstigning i elva ikke skjer.

Nedstrøms for større vatn vil bølgen kunne dempes så mye at en får et naurlig varsel gjennom vannstandsstigningen i elva.

■ Materielle ødeleggelser

Disse ødeleggelser vil kunne være knyttet til:

- Bolighus og fritidshus.
- Gårdsbruk, dyrkede areal.
- Industri.
- Veier.
- Jernbaner.
- Damanlegget med magasin.

Storik!

■ Domino-brudd effekt på nedenforliggende dammer

Det bør alltid vurderes om en liten dam med et tilsynelatende beskjedent bruddpotensiale vil kunne føre til brudd på nedenforliggende større anlegg.

■ Terrengødeleggelser

Et stort dambrudd i en ubebygd dal kan føre til så store terrengødeleggelser at en av denne grunn bør gi dammen en høy klasse.

■ Psykologisk effekt

Uansett fysisk konsekvens vil et større dambrudd i Norge få psykologiske effekter. Almenhetens følelse av sikkerhet mot dambrudd er i stor grad et spørsmål om tillit til bransjen, og denne tillit vil få en stor svekkelse ved et evt. større dambrudd uansett konsekvens.

Tillit

?

1.8.4 Klassifiseringssystem

Det fremtidige klassifiseringssystem bør være felles for krig og naturlaster, og det bør bygge på hovedinndelingen i det nåværende klassifiseringssystem til NVE-TB (200 dammer, 3 klasser).

Totalt antall klasser bør utgjøre 4-6. I nedenstående tabell skisseres et opplegg med 5 klasser. Laveste klasse består av dammer som ikke kommer inn under NVE's tilsyn. Det bør overveies å etablere spesielle klasser for:

- Elvekraftverksdammer i større vassdrag.
- Midlertidige dammer, fangdammer.
- Spesielle dammer, f.eks. slamdammer.

?

Det er et naturlig og avgjørende skille i konsekvensene dersom det er sannsynlig at menneskeliv går tapt ved dambrudd.

Forøvrig vil grensene mellom klassene bli tilfeldig satt, og disse bør kunne justeres under klassifiseringsarbeidet ut fra et ønskelig antall dammer i hver klasse.

Damhøyde

Fysisk skadepotensiale

Klassifiseringen kan for enkelhets skyld ta utgangspunkt i damhøyden. I tillegg vurderes antall bolighus i det kritiske område som et mål på antall menneskeliv i fare. De andre faktorer vurderes skjønnsmessig og kan være grunnlag for klassefastleggingen.

Klassifiseringstabell:

Klasse	Damhøyde	Antall boliger i kritisk område	Anslått fordeling av dammer
1	> 60m	> 100	ca 50
2	15 – 60m	20 – 100	ca 350
3	8 – 15m	1 – 19	ca 600
4	4 – 8m	0	ca 1500
5	< 4m	0	

Ulykkeslaster

Kvalitetssikring

1.8.5 Krav avhengig av konsekvensklasse

Det store flertall av krav til dammer er knyttet til den dimensjonerende tilstand og disse bør være felles uavhengig av konsekvensklasse. De typer krav som det er rimelig å differensiere er følgende:

- Krav om dammen skal tåle ulykkeslaster som PMF, tilstopping av flomløp, ras i magasinet.
- Hyppighet og kvalitet av inspeksjoner og sikkerhetsrevurderinger hos dameier og NVE-T.
- Krav til drifts-sikkerhet ved ekstreme vær- og flomforhold.
- Krav til kvalitet på all type av dokumentasjon av sikkerhet.
- Krav til dameiers organisasjon, kompetanse.
- Krav til varslings- og redningstjeneste ved evt. dambrudd.

1.9 Behov for endring i damforskriftene

1.9.1 Generelt

Dameiers opplegg for å ivareta sikkerhet ved en dam blir helt generelt fastlagt gjennom **tre** typer regelverk.

- *Lover og forskrifter.*

Her er damforskriftene del I inkludert. Disse fastlegges formelt av Nærings- og energidepartementet.

- *Damforskriftenes del II*

”Regler og anbefalinger”. Disse fastlegges formelt av NVE-T.

- *Uformelle normer og praksis.*

Disse fastlegges av dameier og rådgiver i et samspill med NVE-T. ”Prosjekt damsikkerhet” lager innspill som kommer under denne kategori.

Det vil alltid være en balansegang å fastlegge hvor mye av ”uformelle normer og praksis” som bør formaliseres i damforskriftenes del I og del II.

Det er ikke slik at jo mer som er fastlagt gjennom damforskriftenes del I og del II dess bedre blir damsikkerheten. Overføring av normer og praksis til bestemmelser i forskrifter kan ha negativt sider som:

- forskriftene kan bli praktisert mer ”firkantet” enn normer og praksis.
- en forskriftbestemmelse vil få mer tyngde enn norm og praksis og dette kan føre til mindre aktpågivenhet hos dameier. En prosess for å lage forskrift må underlegges en streng kvalitetskontroll.
- en forskrift kan være mindre fleksibel for nødvendige endringer med tiden.

Fordelen med å få bestemmelser fastlagt i forskrifter er at en på dette vis klarere påpeker hvilket nivå damsikkerhetsarbeidet hos dameierne og NVE-T skal ha.

Fordeler og ulemper ved forskrifter

AS!
DNR!

Eksisterende anlegg

Bestemmelser om et slikt nivå blir fastlagt gjennom to typer bestemmelser:

- bestemmelser om at dameier (eller NVE-T) skal gjennomføre bestemte typer av oppgaver. (f.eks. sikkerhetsvurderinger, inspeksjoner, materialundersøkelser o.l.).
- bestemmelser om sikkerhetsnivåer som dammene skal holde. (f.eks. PMF, filterkrav, fribord).

For eksisterende dammer bør forskriftskrav i første rekke være av den første type.

Gjennom det arbeid som prosjektet har fått utført innen forskjellige felt har det blitt avdekket mulige behov for enkelte forskriftsendringer. Som et resultat av dette presenteres i vedlegg 1 "Forslag til endringer i damforskriftene." Det bør understrekes at prosjektet ikke har gjennomført noen fullstendig gjennomgang av damforskriftene med tanke på et revisjonsarbeid.

NVE-T bør ta initiativ til å få gjennomført en slik fullstendig gjennomgang av damforskriftene, og i neste omgang en revisjon av forskriftene. Arbeidet bør skje i samarbeid med bransjen, og det bør stå sentralt i dette arbeidet å utforme forskrifter og "regler og anbefalinger" (damforskriftenes del II) for driftsfasen.

1.10 Rehabiliteringsbehov

Det kan pekes på følgende mulige rehabiliteringsbehov ved våre dammer på bakgrunn av sikkerhetsmessige forhold:

Flommer

- **Ombygging/fjerning av broer over fast overløp**

Dette kan være aktuelt i de tilfeller der faren for tilstopping ved ekstremflommer er stor, og konsekvensene ved tilstopping er uakseptable.

- **Strossing av tunneler og sjakter ved overløp**

Dette kan være aktuelt i de tilfeller der eksisterende flomløpskapasitet er for liten i forhold til påregnelige maksimal vannstand.

Bølger

- **Påbygging av damtopp på eldre fyllingsdammer, alternativt oppsetting av bølgeskvettskjerm i betong.**

Dette kan være aktuelt i de tilfeller det opprinnelige fribord er for lite i forhold til nåværende krav om fribord og flomstørrelser.

Lekkasjer

- **Utlegging av storsteintå ved eksisterende fyllingsdammer.**

Dette kan være aktuelt i de tilfeller at dammens evne til å tåle vanngjennomgangstrømming må økes.

- **Forbedre oppstrøms skråningsvern på fyllingsdammer**

Tidligere kvalitet på oppstrøms skråningsvern har i praksis vist seg i en del tilfeller å være for dårlig i forhold til påkjenningene. En må regne med at kvaliteten på oppstrøms skråningsvern kan være nødvendig å utbedre også på dammer hvor skader ennå ikke har skjedd.

- **Øke flomløpskapasiteten i lukedammer**

Dette kan være aktuelt der en har flomluker og fyllingsdamseksjoner, og hvor overtopping av fyllingsdamseksjonene er uakseptabelt. Ved dammer hvor flomavledningen skjer ved bruk av luker vil maksimal kapasitet ofte være lavere enn påregnelig maksimal flom.

Manøvreringsikkerhet

- **Installering av flere ulike reservesystem for manøvrering av flomluker.**

Dette er mest aktuelt ved de anlegg hvor en både tidsmessig og konsekvens-

messig er mest utsatt i tilfelle av at en ikke får manøvrert flomlukene som forutsatt.

- **Ombygging av eldre nåleløps-/bjelkeløpsdammer**

Manøvrering av slike dammer under ekstremt store flommer forutsetter i mange tilfeller en organisasjon og bemanning som en i dag ikke har, og en ombygging (modernisering) av slike dammer vil i en del tilfeller være nødvendig av sikkerhetsmessige årsaker.

- **Rehabilitering av betongdammer**

Forskjellige aldringsprosesser gjør seg gjeldende for betong. Ulike typer rehabilitering av våre betongdammer kan være aktuelle for å holde aldringsprosessen under kontroll sikkerhetsmessig.

Riving og nybygging må en i de mest ekstreme tilfeller regne med som nødvendig.

- **Rehabilitering av murdammer**

Murdammer trenger jevnlig vedlikehold av fuger for at ikke lekkasjer som utgjør sikkerhetsrisikoer oppstår. Ved enkelte murdammer kan også den stabilitetsmessige sikkerhet være lavere enn hva vi i dag stiller krav om, og evnen til å tåle overtopping kan være meget avhengig av kvalitet på fuging av stein på krone.

En forbedring av sikkerheten vil i mange tilfeller oppnås ved å støpe på dammen på vannsiden og kronen.

Ved overløpsseksjoner kan det også bli behov for å forsterke dammer ved nedstrøms damtå for å sikre seg mot at enkeltblokker faller ut. Murdammer er en damtype hvor en har erfart en del dambrudd.

- **Rehabilitering av tre- og stålbukkdammer**

Damtypen er av mindre varig karakter og behov for total nybygging pga. aldring må en regne med.

Aldring

2

DAMSIKKERHET I DRIFTSFASEN

Dette kapitlet behandler bl.a. behovene for dokumentasjon fra byggingen av dammen og fra reparasjoner og ombygginger.

Videre kommer vi inn på sikkerhetsrutinene i forbindelse med driften av dammen. Disse omfatter ikke bare selve damkonstruksjonen, men også tiltak for å sikre normal driftsoperasjon av damluker o.l.

Vi ser på risikoen i lys av internasjonal dambruddsstatistikk.

Til slutt tar vi for oss NVE-T's tilsynsordning.

2.1

Generelt

- Tiltak for å unngå dambrudd.
- Tiltak for å redusere skadene i tilfelle dambrudd.

Hovedtyngden av arbeidet vil omfatte tiltak for å unngå dambrudd, og slike tiltak bør deles i gruppene *konstruktiv sikkerhet* og *operativ sikkerhet*.

2.1.1 Konstruktiv sikkerhet

Den konstruktive sikkerhet består i en basis sikkerhet fra byggetiden og en endring av denne med tiden.

Endringen i sikkerhet kan være som følge av:

- Svekking av konstruksjonen over tid som følge av ulike aldringsprosesser.
- Endring i faktiske ytre påkjenninger (laster).
- Endring av drifts- og lastforutsetning.

Slike endringer fører med seg en faktisk endring av sikkerhet, men det kan være behov for å bedre sikkerheten også som følge av en endret oppfatning av hva en har av sikkerhet.

Dette kan være:

- Endrede normer for hva som er akseptabel sikkerhet. (Feks. damforskriftenes bestemmelser om flommer og fribord)
- Forbedrede analysemetoder.
- Forbedret grunnlag for å fastlegge last-størrelser.

2.1.2 Operativ sikkerhet

Med operativ sikkerhet menes sikkerhet for at damanlegget funksjoner slik det er forutsatt for at vannstanden i magasinet ikke skal bli for høy. Den operative sikkerhet blir ivaretatt gjennom flere elementer i en dameiers sikkerhetsprogram:

- driftsrutiner for normale forhold
- driftsrutiner for ekstraordinære forhold
- rutinemessig driftsvedlikehold
- prøving av utstyr og driftsøvelser.

Fysiske endringer

Endret oppfatning av sikkerheten

	<p>Det er viktig, men vanskelig å legge opp til en sikker drift under ekstraordinære forhold.</p> <p>Dette blir nærmere omtalt under kapitlet "beredskapsplanlegging". Det er erfaring for at dambrudd har skjedd fordi dammens operative drift ikke fungerer tilfredstillende under ekstraordinære forhold.</p> <p>Den operative drift av dammen (magasinet) vil kunne løpe gjennom mange utviklings-stadier før et dambrudd evt. inntre.</p> <p>Normalt vil en imidlertid ha dekket de ulike utviklingstrinn gjennom 3 sett av driftsregler.</p>
<p>Driftsregler</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Driftsregler for normale forhold. • Driftsregler for flomforhold. • Driftsregler for kritiske situasjoner. <p>(Beredskapsplan for unormale situasjoner ved dammer.)</p> <p>Det vil imidlertid kunne variere ved hvilket stadium i utviklingen man går over fra et sett driftsregler og til det neste.</p> <p>En normal inndeling vil være følgende:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Normal driftsituasjon. Denne situasjonen dekkes av driftsregler for normale forhold. 2. Varsel om flom og uvær er gitt. 3. Det varslede flom og uvær er inntrådt. Flomavledning og drift forøvrig fungerer normalt. Mindre feil oppstår og blir rettet.
	<p>Utviklingstrinn 2 og 3 dekkes av driftsregler for flomforhold.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4a Flom og uvær utvikler seg mot mulig katastrofe og/eller flomavledning eller øvrig drift fungerer ikke normalt eller 4b alvorlig, akutt konstruksjonskade oppstår. 5. Situasjonen er så alvorlig at den kan føre til dambrudd. 6. Situasjonen er så alvorlig at varsling og evakuering av nedstrøms befolkning blir iverksatt. 7. Situasjonen er så alvorlig at den høyst sannsynlig vil føre til dambrudd. 8. Dambrudd inntre. <p>Utviklingstrinn 4–8 bør dekkes av beredskapsplanen.</p>
	<p>2.1.3 Dameiers program for å ivareta sikkerhet under driftsfasen</p> <p>Damsikkerheten i driftsfasen for en dam bør ivaretas etter følgende prinsipp:</p>
<p>Damsikkerhet</p>	<p>Grunnleggende trinn:</p> <p>Dameier har ansvar for at sikkerheten ved hans dam er tilfredstillende.</p> <p>Med damsikkerhet menes sikkerhet mot at det fra dammen kommer ukontrollerte, skadelige vannutslipp (som følge av feilmanøvrering eller dambrudd) eller at det i magasinet oppstår skadelige vannstander høyere enn forutsatt.</p> <p>Dameiers ansvar medfører oppgaver som kan beskrives i forskjellige detaljeringstrinn.</p>
<p>Sikkerhetsprogram</p> <p>Organisasjon</p> <p>Kompetanse</p>	<p>Detaljtrinn 1:</p> <p>For å oppfylle sitt ansvar skal dameier utarbeide, gjennomføre og kontrollere programmer for de aktiviteter han anser nødvendig for sikkerheten i driftsfasen. Omfang og innhold i programmene skal være tilpasset damtype, sikkerhetsnivå og dambruddkonsekvens.</p> <p>Dameier skal ha en organisasjon med tilhørende kompetanse og økonomi som gjør han istand til å gjennomføre de ovenstående oppgaver. Enkelte oppgaver krever egenkompetanse, mens kompetanse for andre typer oppgaver</p>

NVE-rapportering

kan leies. Dameierens opplegg for ivaretagelse av sikkerheten må også tilpasses hans organisasjons-struktur, størrelse og egenkompetanse. Behov for ekspertkompetanse må klargjøres i et totalbilde.

Dameiers programmer må også være bygget opp slik at de kan danne grunnlag for NVE-T's tilsyn.

Detaljtrinn 2:

Et opplegg bør inneholde følgende elementer for å ivareta operativ og konstruktiv sikkerhet:

■ **Programelementer for å sikre operativ driftssikkerhet:**

- Dokumentasjon på driftsforutsetninger
- Opplegg for flomløpsdrift
 - Normale forhold
 - Flom
 - Ekstraordinære flomforhold og driftsuhell. (En del av "beredskapsplan")
- Vedlikeholdsprogram for flomorgan.
- Tekniske prøver, øvelser
- Rapportering og vurdering av opplevde ekstraordinære flomforhold og driftsuhell.
- Overvåking av damsikkerhetsrelatert drift.
- Revurdering av operativ sikkerhet.

■ **Programelementer for å sikre konstruktiv sikkerhet.**

- Dokumentasjon på konstruksjon.
- Inspeksjonsprogrammer.
 - Damvokterinspeksjon.
 - Årsinspeksjon.
 - Hovedinspeksjon.
 - Spesiell inspeksjon under og etter ekstreme lastbetingelser.
 - Undervannsinspeksjoner.
 - Materialundersøkelser.
- Instrumentering, måleprogrammer.
- Lastregistreringer.
- Revurderinger av konstruktiv sikkerhet.
- Ombygginger, reparasjonsarbeider.
- Skaderapportering.
- Beredskap ved skader.

■ **Felleselementer.**

- Hovedrapportering (3-5 års intervall).
- Hovedsikkerhetsvurdering (15-20 års intervall).
- Revurdering av operativt og konstruktivt sikkerhetsprogram.
- Risikoanalyser.
- Dambruddberedskap.
 - Varsling.
 - Konsekvensutredning.
- Rapportering til NVE-T.

Programmene må settes sammen av de enkelte elementer til praktiske programmer. I mange tilfelle vil en i praksis forene flere elementer i ett program. F.eks. vil en damvokter naturlig utføre flere oppgaver samtidig under en flom ved en dam.

Det kan være:

- Manøvrere luker.
- Overvåke flomavledningen.
- Inspisere dammen for evt. skader under ekstreme laster.

Egenkontroll

- Foreta instrumentavlesninger.
- Observere og fotografere bølgebelastninger.

Programmene må også bygges opp slik at det er et egenkontroll-element tilstede i hele systemet. F.eks. bør en hovedinspeksjon i tillegg til selve den fysiske inspeksjonen innholde en gjennomgang av årsinspeksjonsrapportene for å kontrollere at:

- Inspeksjonene er gjennomført.
- Inspeksjonene holder et faglig akseptabelt nivå.

Det må tas med i rapporteringen at dette er kontrollert, og evt. avvik fra akseptabel standard må rapporteres. Programmene må utformes slik at rapportering om evt. avvik sikres gjennom hele systemet fram til hovedrapportering.

2.1.4 NVE-T's tilsyn.

NVE-T har ansvar for å føre tilsyn med at dameier oppfyller sitt ansvar om å ivareta sikkerheten.

NVE-T's tilsyn med dammers sikkerhet bør baseres på en gjennomdrøftet strategiplan som prioriterer mellom ulike typer av aktiviteter.

Det bør i første omgang skjelnes mellom:

- aktiviteter rettet mot enkeltdammers sikkerhet
- aktiviteter rettet mot damsikkerhet generelt.

■ Enkeltdammers sikkerhet.

I sitt tilsyn kan NVE-T legge opp til mange forskjellig grader av tilsyn. NVE-T bør gradere sitt tilsyn etter dambruddkonsekvensene. Dammer som har store bruddkonsekvenser bør ha et mer omfattende tilsyn fra NVE-T enn dammer med små bruddkonsekvenser.

NVE-T bør også legge opp til et relativt mer omattende tilsyn ovenfor dammer hvor svakheter har oppstått og ovenfor dameiere som en gjennom erfaring vet har gjennomført sitt damsikkerhetsarbeid mindre tilfredstillende.

Det bør også være aktuelt for NVE-T å differensiere graden av sitt tilsyn etter dameiers organisasjon, kompetanse og økonomi. Dameiers mangel på ressurser kan føre til redusert internt damsikkerhetsarbeid, og behov for å øke NVE-T's tilsyn.

NVE-T bør gradere sitt tilsyn etter dammenes sikkerhetsnivå. I dag finnes dammer i drift med mange ulike sikkerhetsnivåer. Dammer som er planlagt og bygget i henhold til damforskriftene holder en høy standard. Dammer som er bygget tidligere kan ha dårligere sikkerhetsnivå p.g.a. svakere krav til laster, materialer eller utførelse, eller p.g.a. dårligere kontroll og dokumentasjon.

NVE-T bør gradere sitt tilsyn etter damtype. Enkelte damtyper, som f.eks. trebukkdammer, er mer utsatt for en sikkerhetsreduksjon over tid enn andre konstruksjoner av mer varig karakter.

Differensiert NVE-tilsyn

2.2 Planleggings- og byggedokumentasjon

2.2.1 Planleggings- og byggefasen

Fra planleggings- og byggefasen skal det foreligge en dokumentasjon som klargjør alle forhold av betydning for dammen og som i prinsipp skal inneholde følgende:

- Generell informasjon om anlegget.
- Flomavledning og belastninger.
- Grunnforhold og damkonstruksjon.
- Overvåknings- og sikkerhetstiltak.
- Tilleggsinformasjon.

Reparasjoner	Det er selvsagt viktig at dokumentasjonen også omfatter de endringer som er foretatt under dammens byggefase. Slike endringer kan være kilde til skader eller dambrudd.
Fullstendig dokumentasjon	Dokumentasjonen bør foreligge i følgende former: <ul style="list-style-type: none"> • En fullstendig dokumentasjon. • En liste over den fullstendige dokumentasjonen. • En oversiktsdokumentasjon som viser de viktigste data som en trenger ved en inspeksjon og evt. ved en krisesituasjon.
Oversikt	<ul style="list-style-type: none"> • Et sammendrag av den dokumentasjon som vedrører dammens sikkerhet. Vi vil peke på følgende forhold hvor dokumentasjonen er viktig men ofte mangelfull: <ul style="list-style-type: none"> Flomavledningssystemets geometri og dets kapasitet. Geometri og materialeegenskaper ved topp av fyllingsdammer. Flomstørrelser. Damforskriftene gir fylldige krav til beregningsmetodikk og dokumentasjon, men tidligere tiders fastlegging av flomstørrelser er ofte dårlig dokumentert.
Sammendrag	<p>Driftsforutsetninger. I enkelte tilfelle kan en under prosjektering ha lagt til grunn en bestemt driftsfilosofi. Det er viktig at slike forutsetninger som påvirker dammens sikkerhet blir oppsummert i et eget dokument. I dag kan en ha personell i driftsorganisasjonen som kjenner forutsetningene fordi de også var med under prosjektering og bygging.</p> <p>Driftsforutsetninger som gjelder unormale situasjoner er det spesielt viktig å få dokumentert fordi de ikke naturlig blir overført fra mann til mann gjennom den daglige drift.</p>
Kontroll og supplering av dokumentasjon	<h3>2.2.2 Driftsfase</h3> <p>Dameiers oppgave under en dams driftsfase vil være følgende:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gjennomgå og kontrollere at dokumentasjonen fra planleggings- og byggetiden er tilstrekkelig, og at den foreligger i en praktisk form. Orienterer NVE-T. Dette er en arbeidsoppgave som bør gjennomføres ved følgende tidspunkt: <ul style="list-style-type: none"> - Ved overtakelse av dammen fra en anleggsavd. til driftsavd. - Rutinemessig med ca. 15 års intervall. - Ved større endringer av forskrifter eller normer vedrørende sikkerhet og krav til dokumentasjon. (f.eks. damforskriftene fra 1981) • Supplere dokumentasjonen dersom den er ufullstendig. Den praktiske arbeidsgang bør være følgende: <ul style="list-style-type: none"> - Dameier setter opp en oversikt over dokumentasjon som finnes og manglene ved dokumentasjonen. - Dameier vurderer muligheten og nytten av å fremskaffe manglende dokumentasjon og kommer med forslag om hva som er rimelig å gjøre. - Dameier orienterer NVE-T om dammens dokumentasjon og planene om evt. supplement. - Dameier supplerer dokumentasjonen som oversendes NVE-T. <p>For dammer som er bygget før damforskriftene kom vil dokumentasjonen i en del tilfelle være meget mangelfull. Damforskriftenes krav til dokumentasjon gjelder formelt sett ikke for slike dammer, men damforskriftene vil danne en norm også for disse.</p> <p>I hvilken grad dokumentasjonen bør suppleres bør avhenge av muligheten og nytten av å fremskaffe dokumentasjonen. For eldre dammer med små bruddkonsekvenser bør dokumentasjonssupplement begrenses til et minimum.</p> <p>Ufullstendig dokumentasjon kan være:</p> <ul style="list-style-type: none"> - dokumentasjonen mangler - dokumentasjonens omfang, form eller kvalitet er ikke i.h.t. dagens standard. - dokumentasjonen har et foreldet sikkerhetsnivå som utgangspunkt.
Ufullstendig dokumentasjon	

Oppbevaring

- Dameier må supplere dokumentasjonen ved alle typer av vedlikehold, reparasjon eller ombyggingsarbeider. Dameier må sørge for en oppbevaring av dokumentasjonen som ivaretar hensyn til:
 - den praktiske bruk
 - sikkerhet mot ødeleggelse
 - sabotasjesikkerhet

2.2.3 NVE-T's oppgave

NVE-T's oppgave vil være følgende:

- Kontrollere at nødvendig dokumentasjon er innsendt for dammer som er bygget i.h.t. damforskriftene.
- For dammer som er bygget før damforskriftene ble innført vil det være nødvendig at NVE-T ber dameiere fremskaffe nødvendig dokumentasjon i de tilfelle der dameier på eget initiativ ikke gjør dette.

Dette kan skje ved henvendelse til den enkelte dameier, eller generelt ved at NVE-T ved rundskriv eller ved forskriftsendring o.l. fastslår at dameier har plikt til å fremskaffe en slik dokumentasjon for eksisterende dammer.

Hvilke krav og pålegg har kommet fra NVE-T, og er de etterkommet?

2.2.4 Dokumentasjon på offentlige sikkerhetskrav

Dammens sikkerhet er dels basert på detaljerte, konkrete offentlige sikkerhetskrav, og dels på dameierens skjønn om hva som er tilfredstillende sikkerhet. Dameieren bør sørge for at det finnes en egen dokumentasjon på at alle detaljerte, konkrete offentlige sikkerhetskrav er tilfredsstillt.

Denne dokumentasjon kan settes sammen slik:

1. Liste over de lover, forskrifter som gjelder for vedkommende dam og som har relevans til dammens sikkerhet.
2. Liste over de konkrete, detaljerte sikkerhetskrav som lovene, forskriftene i pkt. 1 inneholder.
3. Liste over sikkerhetspålegg gitt av myndighetene for den enkelte dam.
4. Liste over dameierens dokumentasjon av kravene nevnt i pkt. 2 og 3.
5. Liste over myndighetenes godkjenning av dameiers dokumentasjon nevnt i pkt. 4.
6. Korrespondanse som vedrører krav/pålegg, dokumentasjon og godkjenning bør merkes og oppbevares i egen mappe.
7. Dameiers dokumentasjon.

I likhet med dameier bør også NVE-T utforme et slikt system internt for å ha oversikt over pålegg som er gitt og dokumentasjon som er mottatt fra dameier.

2.3 Driftsrutiner

Den daglige drift for en dameier vil ha som siktemål å produsere kraft eller levere drikkevann og rutineene for dette vil være mange.

Når det i denne rapporten benyttes begrepet driftsrutiner menes imidlertid kun de rutiner som har med ivaretagelse av dammens operative sikkerhet å gjøre.

Dette vil i hovedsak være driftsrutiner vedr. vannstandsregistreringer og flomavledning.

Gode driftsrutiner vil utgjøre en del av sikkerheten ved et anlegg og det bør utarbeides et program for dette.

Følgende driftsrutiner bør inngå i programmet:

- Overordnede driftsregler vedr. flomavledning. Ved de fleste anlegg har man flere hensyn å ta vare på i en flomsituasjon. Dette kan f.eks. være:
 - Dempe skadeflommene nedstrøms magasin.
 - Unngå skader langs magasinet.

- Sørge for en flomavledning som med sikkerhet fungerer.
- Unngå dambrudd.

De overordnede krav kan i en viss grad være motstridende. De overordnede driftsregler bør klarlegge enkelte prinsipielle veivalg i en flomavlednings situasjon for de som står med ansvaret i en aktuell situasjon.

Programmet må være realistisk og gjennomtenkt. Det vil i alle tilfelle være en rekke detaljavgjørelser som en ikke kan dekke opp med overordnede driftsregler.

Driftsrutiner for flomavledning

En må være oppmerksom på at evt. motstridende overordnede krav i en flomsituasjon kan være en av grunnene til at en avklaring av driftsreglene ikke finner sted, fordi forsøk på avklaring vil klargjøre at enkelte krav er motstridende.

- Driftsrutiner vedr. manøvrering av alle flomorgan og tappeorgan.
- Driftsrutiner vedr. vannstandsregistreringer. (Spesielt ved vannstandsområdet mellom HRV og påregnelig maksimal vannstand).
- Spesielle driftsrutiner i uværs- og flomsituasjoner.
- Rutiner vedr. opplæring ved nytilsetninger, omorganiseringer o.l.

Rutiner og opplegg for krisesituasjoner hører på et vis også med til drifts rutiner, men slike forhold er beskrevet under kapittel 2.4 "Beredskapsarbeid".

2.4 Beredskapsarbeid

2.4.1 Orientering

Begrepet beredskap er generelt og benyttes i mange sammenhenger. For kraftselskaper er begrepet tradisjonelt knyttet til det arbeid det tidligere Kraftforsyningens Sivildforsvarnemnd (KSFN) sto for og som i dag videreføres av Beredskapsseksjonen i NVE (NVE-TB). Hensikten med dette beredskapsarbeid var i første rekke å sikre at energiforsyningen fungerte i en krigssituasjon og i en beredskapssituasjon (perioder forut for krig).

Energiforsyningens beredskap

Damsikkerhetsberedskap

I den nye energiloven er dette arbeidsfelt utvidet til også å omfatte beredskap mot sabotasje o.l. i fredstid.

Det er også fra NVE's side foreslått at også beredskap for å sikre energiforsyningen i naturskapte krisesituasjoner som større uvær o.l. skal omfattes av dette beredskapsarbeidet.

Krig, sabotasje

Beredskapsseksjonens arbeidsfelt har også omfattet damsikkerhetsberedskap i forbindelse med krig, sabotasje o.l.

Storm, uvær

For et kraftselskap vil det i en storm- og uværsituasjon ofte være et hovedmål å sikre at strømforsyningen fungerer. Det må imidlertid ikke glemmes at kraftselskapet også kan ha ansvar for dammer med et ekstremt stort skadepotensiale i tilfelle dambrudd, og at sikkerheten for disse dammene blir satt på prøve i den samme situasjonen.

For å skape klarhet om arbeidsfelt er det viktig å skille mellom:

- beredskapsarbeid for damsikkerhet
- beredskapsarbeid for energiforsyning (evt. vannforsyning)

Det er videre naturlig å skille mellom:

- beredskap mot menneskeskapte situasjoner (krig, sabotasje o.l.)
- beredskap mot naturskapte situasjoner (storm, teknisk svikt)

I prosjektet har vi kun tatt for oss beredskapsarbeid for damsikkerhet ved naturskapte situasjoner. Det er imidlertid viktig at alt beredskapsarbeid som har tilknytningspunkter blir samordnet.

Med beredskapsarbeid innenfor damsikkerhet forstår vi arbeid som utføres for å:

- Hindre en unormal situasjon å utvikle seg til en uønsket hendelse.
- Redusere skadeomfanget dersom den uønskede hendelsen inntreffer.

De aktuelle uønskede hendelsene i damsikkerhetssammenheng vil være:

- Dambrudd
- Utilsiktet åpning av luke
- Skadevannstand i magasin

2.4.2 Hvordan kan damsikkerheten bedres gjennom beredskapsarbeid

Ved å gjennomføre et beredskapsarbeid vil dameieren bedre damsikkerheten på følgende vis:

- Ved å ha deltatt i planarbeid og ved å ha en operativ beredskapsplan vil dameierens mannskaper, ledelse og organisasjon bedre kunne mestre kritiske situasjoner uten at dambrudd eller andre uønskede hendelser inntreffer.
- Gjennom planarbeidet kan svake punkter avdekkes og rettes før en evt. kritisk situasjon inntreffer. Slike svake punkter kan være av ulike karakter:
 - Teknisk utforming av anlegg
 - Deler av operativ beredskapsplan
 - Ressurser til bruk i kritiske situasjon
- Gjennom beredskapsplanarbeidet dokumenteres dameierens beredskapstiltak ovenfor NVE-T. Dette gir NVE-T en mulighet til å vurdere dette i en samlet vurdering av dammens sikkerhet, og påtale evt. lave sikkerhetsnivåer.

2.4.3 Elementer i beredskapsarbeidet

Beredskapsarbeidet kan deles i følgende hoveddeler:

- Situasjonsanalyse.
- Operativ beredskapsplan.
- Plan for prøving av utstyr og øvelser.
- Gjennomføring og rapportering om øvelser og prøving av utstyr.
- Rapportering og vurdering av håndtering av kritiske situasjoner og tilløp til kritiske situasjoner.

■ Situasjonsanalyse

Situasjonsanalysen skal munne ut i tiltak i form av:

- Operativ beredskapsplan.
- Plan for øvelse og prøving.
- Tekniske tiltak på anlegget.
- Plan for reserveutstyr.

Analysen kan deles i følgende elementer:

- Klarlegging og analyse av situasjoner som kan utgjøre risiko for dambrudd. Dette kan være:
 - Store flomsituasjoner.
 - Feilmanøvreringer ved tilstøtende anlegg.
 - Feil ved flomløpsfunksjonering.
 - Tilstopping av flomløp.
 - Plutselige lekkasjer.
 - Ras.
 - Brudd på ovenforliggende dam.
 - Plutselige alvorlige skader på dammen.

Den sentrale hendelse som det er viktigst å være forberedt på er flom og uværssituasjoner med muligheter for tilstopping og feilfunksjonering på flomløp.

Analysen av flomløpets funksjonssikkerhet vil være en vesentlig del av beredskapsanalysen. Dette er nærmere omtalt under pkt. 3.5. En slik analyse vil i hovedsak gi svar på spørsmålene:

- Hvordan kan en få funksjonssvikt ved flomorganene.
- Hvilke tiltak kan settes inn for å avhjelpe funksjonssvikt.
- Beskrivelse av dameiers organisasjon, tekniske anlegg, kommunikasjon og ressurser.
- Beskrivelse av lokalsamfunnets ressurser.

Risikosituasjoner

- Konsekvensvurderinger og bruddgrensevurderinger.

Konsekvensene av enkelte sentrale uønskede hendelser bør være vurdert i en beredskapsanalyse. Slike hendelser kan være:

- Unormal høy vannstand i magasinet (evt. kombinert med bølger).
- . Vil manøvrering av luker, nåler bli forhindret?
- . Ved hvilken v.st. vil dambrudd kunne starte?
- lekkasje.
- . Ved hvilken lekkasjemengde vil dambrudd kunne starte?
- Dambrudd.
- . Hva er konsekvensene ved et dambrudd?
- . Hvilke bebodde områder og kommunikasjonsmidler vil bli berørt?
- . Hva har en til rådighet av tid for varsling og evakuering?

■ Operativ beredskapsplan.

Den operative beredskapsplan skal være til hjelp i de tilfelle at en unormal situasjon inntreffer. Planen må klarlegges:

- Dameiers interne organisering av arbeidet under beredskapssituasjon.
- Varslingsrutiner.
- Innsatsplaner som beskriver mulige tiltak for forskjellige hendelser.
- Ressurser.
- Informasjonsflyt internt og eksternt.
- Dameiers ansvar og myndighet under beredskapssituasjonen kontra andre organisasjoners ansvar og myndighet (Politi, NVE)

2.5 Inspeksjonsrutiner

Dameiers inspeksjoner utgjør en viktig del av sikkerhetsarbeidet for konstruktiv sikkerhet, og det har alltid vært vanlig å gjennomføre inspeksjoner, men etter at damforskriftene ble innført i 1981 er arbeidet blitt gjennomført mer systematisk.

Inspeksjoner alene er imidlertid ikke tilstrekkelig for å ivareta den konstruktive sikkerheten, også andre elementer som omtales i kapittel 2 må inngå i et fullstendig program.

Det er mulig at den sterke fokusering som har vært på behovet for å gjennomføre inspeksjoner har tatt oppmerksomheten noe vekk fra andre nødvendige elementer i sikkerhetsarbeidet.

Dagens normale praksis med hensyn til inspeksjoner er i stor grad tilfredsstillende, og prosjektet har derfor ikke funnet det nødvendig å gi dette tema noen særlig plass i sitt arbeid.

Vi vil imidlertid peke på at det i tillegg til visuelle inspeksjoner i mange tilfelle bør vurderes å gjennomføre undervannsinspeksjoner og materialundersøkelser.

De nevnte elementene i et inspeksjonsprogram bør være følgende:

- Visuelle inspeksjoner.
 - Regelmessige inspeksjoner utført av driftspersonell.
 - Årsinspeksjon.
 - Hovedinspeksjon.
 - Spesiell inspeksjon under og etter ekstreme lastbetingelser.
- Undervannsinspeksjoner.
- Materialundersøkelser.

Behovet for inspeksjoner er imidlertid sterkt varierende avhengig av damtype og dammens generelle tilstand og sikkerhetsnivå. Dette bør gjenspeiles i inspeksjonsopplegget.

Som nevnt ovenfor er det viktig at også andre elementer enn inspeksjoner blir tatt hånd om i et totalt program. Dette kan organiseres på flere måter,

Inspeksjoner alene er ikke nok

Problem-alarmer må ha hyppige inspeksjoner

men i mange tilfelle vil det være naturlig å gjennomføre en del oppgaver i tilknytning til hovedinspeksjonen.

Slike oppgaver kan være følgende:

- Vurdering av dameiers øvrige inspeksjonsvirksomhet.
- Oppsummering og vurdering av instrumentresultater.
- Oppsummering av lastregistreringer.
- Vurdering av behov for å endre dameiers sikkerhetsprogram.
- Vurdering av behov for å gjennomføre nærmere sikkerhetsvurderinger.
- Vurdering av behov for utbedringsarbeid. Bestemmelser om et slikt nivå blir fastlagt gjennom to typer bestemmelser:
- bestemmelser om at dameier (eller NVE-T) skal gjennomføre bestemte typer av oppgaver. (f.eks. sikkerhetsvurderinger, inspeksjoner, materialundersøkelser o.l.).
- bestemmelser om sikkerhetsnivåer som dammene skal holde. (f.eks. PMF, filterkrav, fribord).

For eksisterende dammer bør forskriftskrav i første rekke være av den første type.

Gjennom det arbeid som prosjektet har fått utført innen forskjellige felt har det blitt avdekket mulige behov for enkelte forskriftsendringer. Som et resultat av dette presenteres i vedlegg 1 "Forslag til endringer i damforskriftene." Det bør understrekes at prosjektet ikke har gjennomført noen fullstendig gjennomgang av damforskriftene med tanke på et revisjonsarbeid.

NVE-T bør ta initiativ til å få gjennomført en slik fullstendig gjennomgang av damforskriftene, og i neste omgang en revisjon av forskriftene. Arbeidet bør skje i samarbeid med bransjen, og det bør stå sentralt i dette arbeidet å utforme forskrifter og "regler og anbefalinger" (damforskriftenes del II) for driftsfasen.

2.6 Instrumentering

Måleprogram

Instrumentering av dammer for måling av deformasjoner, poretrykk, spenninger, vanngjennomgang, temperatur eller andre fysiske størrelser vil være en del av dameiers sikkerhetsoppfølging.

Faglige vurderinger

Dameier må ha et program for sine målinger. Programmet må være tilpasset damtype, alder og tilstand. Programmet må settes opp etter en klar filosofi og hensikt med målingene. Målingene må følges opp med faglige vurderinger av kompetent personell. Omfanget av målingene bør revurderes i intervaller på ca 10–20 år. Behov for målinger vil avta etter de første 10 år av dammens levetid.

Nye målinger

Behovet for nye målinger må også vurderes i forbindelse med skade eller unormal tilstand ved dammen. Spesielle målebehov kan oppstå ved meget gamle dammer, og den teknologiske utvikling fører også med seg nye muligheter for målinger.

Daminstrumenteringen vil helt generelt ha som formål å registrere dammens tilstand og vil være en del av opplegget for å ivareta den konstruktive sikkerheten.

Instrumentering har også en plass i programmet for den operative sikkerhet. Slik instrumentering vil ha som formål å registrere magasin vannstand, lukestillinger og andre tekniske forhold vedrørende lukemanøvrering.

Et program for daminstrumenteringen bør bestå av følgende elementer:

- Filosofi og formål med målingene.
- Angivelse av målehyppighet for de enkelte målinger og hvem som har ansvar for gjennomføring av målingene.
- Bestemmelser om vurdering av målingene.

I en del tilfelle behøver en ikke å vurdere måleresultatene like ofte som en måler. Vurdering av målinger for dammer under bygging, første magasin-

Vurderes målingene tilstrekkelig?

ylling og de nærmeste 10 år etter at dammen er bygget bør skje av spesiell kompetent person. Dette bør også skje dersom senere målinger viser resultat som avviker fra det normale.

- Ekstrakt av teoretiske beregninger som måleresultatene kan vurderes opp mot.
- Bestemmelser om revurdering av måleprogram.
- Bestemmelser om intern rapportering og rapportering til NVE-T.

De viktigste former for målinger er følgende:

- **Lekkasjemålinger på fyllingsdammer.**

Slike målinger er viktig i hele dammens levetid. Nærmere synspunkter vedrørende dette er gitt i kpt. 3.7.

- **Overflate-deformasjoner på fyllingsdammer.**

Størsteparten av deformasjoner på fyllingsdammer skjer i løpet av de første 10 år etter at dammen ble bygget. Langtidsdeformasjoner etter denne tid bør kunne følges opp med målinger av ca 10 års mellomrom, dersom deformasjonsmønsteret er normalt, og den totale deformasjon er langt fra overhøyden som dammen er bygget med.

Hensikten med måling av langtidsdeformasjoner er å fastslå hvorvidt topp tetning og damtopp holder seg på tilstrekkelig nivå. Dette oppnås gjennom nivellement av bolter på damtopp og tetning.

For større dammer kan bevegelsene være av slik størrelse at det gir verdifullt bidrag til forståelse av bevegelsesmønsteret også å måle de horisontale langtidsdeformasjonene og å måle et stykke ned i skråningene.

Under byggeperiode, første gangs magasinpylling og under de første årene dammen er i drift kan det være nyttig å måle hyppig og å bruke målebolter over hele damkroppen. Et slikt omfattende måleprogram er unødvendig når dammen er eldre og oppfører seg normalt.

- **Deformasjonsmålinger på hvelvdammer.**

Slike målinger kan avsløre langtidsdeformasjoner i betongen eller unormale deformasjoner i vederlagrene.

- **Poretrykksmålinger i tetningskjernen på fyllingsdammer, og i damfundament.**

Måler vi unødvendig mye på eldre dammer?

2.7 Sikkerhetsvurderinger

2.7.1 Generelt

Den samlede sikkerhet mot en fare eller last består i prinsippet av en basis-sikkerhet fra den tid da konstruksjonen var ny, og en endring av denne med tiden.

Inspeksjonsoppleggene og instrumenteringsoppleggene klarlegger hvilke endringer som skjer med konstruksjonen, men dette alene gir ingen oversikt over sikkerheten. For å klarlegge dette må dameierne gjennomføre sikkerhetsvurderinger med dagens sikkerhetsnormer som utgangspunkt.

2.7.2 Tidspunkter for sikkerhetsvurderinger

Sikkerhetsvurderinger bør gjennomføres ved følgende tidspunkt:

- Ved planlegging og bygging.
- Ved ombygging og større reparasjonsarbeid.
- Ved opptreden av skader eller unormale hendelser på dammen (f.eks. skade på plastring, unormale lekkasjer).
- Ved større endringer av sikkerhetsnormer (f.eks. innføring av damforskrifter).
- Dersom inspeksjoner, instrumenteringsresultat, lastregistreringer eller andre forhold skulle tilsi behov for sikkerhetsvurderinger.
- Dersom nye analysemetoder gir et vesentlig bedre grunnlag for å bedømme sikkerhet enn tidligere metoder.
- Med gitte faste tidsintervall (ca 20 år).

Basissikkerhet

Endringer

2.7.3. Ulike farer eller laster

Sikkerhetsvurderinger rettes inn mot forskjellige farer, laster, eller som en samlet sikkerhetsvurdering. I damsikkerhetsprosjektet har vi nærmere behandlet enkelte slike farer/-laster eller problemstillinger knyttet enkelte konstruksjonselementer.

- Flommer
 - Flomstørrelser.
 - Tilstopping av flomløp.
 - Manøvrerbare flomløp.
 - Sjakt/tunnel - flomløp.
- Overtopping av fyllingsdammer.
- Lekkasjer ved fyllingsdammer.
- Ras i magasin.

Andre typer av vurderinger som i mange tilfelle kan være aktuelle er:

- Fyllingsdammers bølgevern.
- Betongdammers stabilitet.
- Betongdammers fundamentstabilitet.
- Jordskjelv.

Også enkelte samlede vurderinger kan være aktuelle:

- Klargjøring av konsekvensene ved dambrudd.
- Klargjøring av samlet sannsynlighet for dambrudd.
- Risikoanalyser som inneholder elementer av begge de 2 ovennevnte.

2.7.4 anbefalinger

I dagens situasjon anbefaler vi dameierne å gjennomføre følgende:

Dameier

- **Revurdere sikkerheten på sine dammer etter dagens sikkerhetsnormer.**

Dameier bør klargjøre og begrunne hvilke revurderinger av sikkerhet en anser nødvendig å gjennomføre, og deretter drøfte dette med NVE-T. Ved vurderingen bør dameier ta hensyn til:

- Dambruddkonsekvens.
- Farebildet for dammen.
- Omfang, kvalitet og sikkerhetsnorm ved tidligere sikkerhetsvurderinger.

Dameier gjennomfører de sikkerhetsvurderinger som anses nødvendig.

- **Innarbeide regler om sikkerhetsvurderinger i sitt driftsprogram.**

En må regne med at dameierne kan ha vanskelig for å foreslå at revurderinger blir gjennomført i enkelte tilfelle. Det kan være en vanskelig vurderingssak å avgjøre hva som er nødvendig og hva som er unødvendig å gjennomføre. I en slik situasjon vil en ofte støtte seg til hva andre dameiere gjør, og hva som utgjør en vanlig praksis. Endringer i praksis er dermed vanskelig å få til.

Klargjøring av nytte og behov for sikkerhetsvurdering, og påpekninger av at det er dameiers ansvar å klargjøre nødvendighet (eller fravær av nødvendighet) for slike vurderinger vil kunne bidra til en praksisendring.

NVE-T

NVE-T bør imidlertid også selv vurdere behov for slik revurdering av sikkerhet for enkelte faretyper (f.eks. tilstopping av flomløp, eller utglidning av hvelvdamfundament), og planmessig og samordnet pålegge grupper av dameiere å gjennomføre slike revurderinger der det anses nødvendig.

2.7.5 Forskriftsendringer

En endring av praksis slik at dameiere selv i større grad foretar revurdering av sikkerhet kan oppnås ved å ta med bestemmelser om dette i forskriftsverket.

Vårt nåværende system er slik at vi gjennom damforskriftene har bestemmelser om:

- Hva slags sikkerhetsvurderinger som skal gjøres.
- Fastlegging av hva som er tilfredsstillende sikkerhetsnivå.

Disse bestemmelsene gjelder for planlegging og bygging.

Der nye forskrifter for dammer inneholder bestemmelser som enten er nye eller avviker vesentlig fra tidligere praksis, kan en ta med bestemmelser om at det også for tidligere bygde og godkjente dammer skal sendes inn sikkerhetsdokumentasjon.

2.8 Skade- og uhellsrapportering

2.8.1 Generelt

Rapportering om skader og unormale driftshendelser, og oppfølging av slike tilfelle, utgjør et viktig element i damsikkerheten. Rapporteringen har flere formål:

- Den skal sikre en forsvarlig intern behandling av saken.
- Den skal sikre NVE-T's innsyn og påvirkningsmulighet i saken.
- Den skal sikre informasjonsflyt til et samlet register over skader og uhell med relevans til damsikkerhet.

2.8.2 Rapporteringsrutiner

Rapportering av skader/unormale situasjoner bør skje gjennom tre rutiner.

- Normal rapportering vedr. tilsyn, drift og vedlikehold.
- Akutt skade/uhellrapportering.
- Skadestatistikkrapportering.

■ Normal rapportering

Rapportering om skader, utførte reparasjoner og om oppståtte unormale situasjoner bør inngå i den normale tilsynsrapporteringen.

Dokumentasjon fra byggeperioden må suppleres med en protokoll hvor alle oppståtte skader/unormale hendelser og reparasjoner blir registrert. Dokumentasjon av vedlikeholds- og reparasjonsarbeidene må tillegges dokumentasjonen fra byggeperioden slik at en ved senere vurderinger får et komplett bilde av de arbeidene som er utført ved damanlegget.

Dokumentasjonen bør være slik at den i ettertid gir et bilde av tilstanden før reparasjonen, de tekniske vurderingene som er gjort vedr. skaden og reparasjonen, og en teknisk dokumentasjon på selve reparasjonen.

Gjennom kontakt med dameiere under prosjektarbeidet har en fått følgende inntrykk vedr. dagens situasjon:

- En systematisk oversikt over de vedlikeholds-/reparasjonsarbeidene som er utført på et anlegg etter byggetid mangler ofte.
- Dokumentasjon fra det enkelte vedlikeholdsarbeid mangler ofte.
- Rapportering om unormale hendelser, sammendrag av vurderinger som gjøres, konklusjoner som trekkes og tiltak som iverksettes, vil en sjelden finne blant den rutinemessige rapportering.

■ Akutt skade/uhellrapportering

Dette er en varsling til NVE om en akutt situasjon. Hensikten er å orientere om situasjonen og hvorledes en akter å løse denne.

■ Skadestatistikkrapportering

En egen fullstendig statistikkrapportering og registrering av skader og uhell på dammer skjer i dag ikke i Norge.

En slik registrering bør gjennomføres av NVE-T, og av dameierorganisasjonene.

Hensikten med en slik rapportering og registrering er at en skal få oversikt over hva som samlet skjer av skader og uhell og gjennom det danne seg et bilde av faremomenter slik at mottiltak kan settes inn.

Skade/uhellrapportering bør være standardisert og omfatte følgende:

Tilsynsrapportering

Dokumentasjon fra reparasjonsarbeider

- Vedr. skaden.
 - Skadens alvorlighet.
 - Skadetidspunkt.
 - Skadeart.

Registrering av skadens alvorlighet kan skje etter følgende skala:

- Skade, uhell som førte til dambrudd
- Skade, uhell som trolig ville ført til dambrudd dersom en ikke straks hadde satt inn tiltak i form av reparasjon eller magasinsenking. (ICOLD-accidents type 1).
- Skade, uhell av slik karakter at tiltak i form av midl. reparasjon eller magasinsenking straks ble satt inn. Dambrudd kunne ha inntruffet ved en større grad/varighet av skade/uhell.
- Skade, uhell av slik karakter at reparasjon anses nødvendig innen ett år.
- Skade, uhell anses nødvendig å reparere innen fem år.
- Skade, uhell kan utsettes på ubestemt tid å reparere.

Registrering etter skadetidspunkt kan skje etter følgende skala:

- Byggeperiode.
- Første magasinifilling.
- Dammens alder 1–5 år.
- Dammens alder 5–100 år.
- Dammens alder mer enn 100 år.

- Vedr. reparasjon.
 - Reparasjonsår.
 - Type av reparasjon.
 - Reparasjonskostnad.
- Vedr. dammen.
 - Damtype.
 - Damhøyde.
 - Dammens byggeår.
 - Dammens funksjon.
- Identifikasjon.
 - Dammens navn.
 - Dammens eier.
 - Vassdragnr. og navn.
 - Henvisning til rapporter vedr. skaden og reparasjon av skaden.

2.8.3 Internasjonal dambruddstatistikk

Dambruddstatistikk er samlet gjennom det arbeid som pågår i den internasjonale komité for store dammer (ICOLD) og i de enkelte nasjonale komiteer.

I prosjekt damsikkerhet har vi vurdert de internasjonale dambruddstatistikk for å se hva de kan fortelle oss om risikonivået ved våre norske dammer.

Det vises til vedlegg 6 "Internasjonal dambruddstatistikk".

2.8.4 Skade- og uhellserfaringer

■ Vannstandsregistreringer

Feil ved vannstandsregistreringene oppleves ved de fleste verk, enten ved at målinger faller helt ut, eller ved at det vises en verdi som ligger langt unna den virkelige verdi.

En opplever imidlertid ikke dette som noe annet driftsproblem enn at vannstandsregistreringen må kontrolleres og repareres. Det er sjelden at feil ved vannstandsregistreringen fører til feilmanøvrering av luker eller lignende.

Det er ikke normalt å føre noen systematisk registrering over feil ved vannstandsmålinger.

Feil ved luker

■ Lukemanøvreringer.

Dameierne har erfart ulike typer av svikt og unormale forhold vedr. lukemanøvrering. Tilfellene har sammenheng med følgende forhold:

- Feil ved strømforsyning
- Feil ved styredel
- Fastfrosne luker
- Hærverk
- Blokkering pga. drivgods
- Skadet opptrekk
- Skadet luke

Bjelke-/nåleløp

Enkelte eldre bjelke-/nåleløp er utformet slik at manøvrering må skje i forkant av flommene. Systemet er i praksis umulig å håndtere under en flom. Det kan ved slike eldre anlegg også være uklare retningslinjer for nødvendig manøvrering i flomsituasjoner.

Ved enkelte anlegg er tidsmomentet så avgjørende at reservesystem automatisk skal settes i gang ved svikt på hovedsystem. Det er også registrert feil på slike automatiske reservesystem.

■ Skader på dammer

Følgende typer av skader er det blitt berettet om ved kontakt med dameiere:

- Dambrudd pga. overtopping av eldre murdam.
- Plastringsskader på fyllingsdammer.
- Underspyling av stålbukkedam.
- Erosjonsskader nedstrøms for dammer.
- Erosjonsskader på damkroner pga. bølgeoppløp.
- Skader på betong pga. alkalireaksjoner.
- Overtopping av sekundære fyllingsdammer under flom.
- Fugeskader i platedam.
- Store lekkasjer (utvaskinger) i tørrmursdammer.
- Store deformasjoner i tørrmursdammer.

Større utbedringsarbeider har for det meste vært knyttet til et av følgende punkter:

- Ombygging av flomløp fra nåle/lukeløp til moderne luker.
- Utbedring av plastring på fyllingsdammer.
- Forhøyelse av fyllingsdammer/utvidelse av flomløp.

■ Kritiske situasjoner

Det er kun unntaksvis at dameiere anser at de har hatt episoder eller tilfeller som kan karakteriseres som en kritisk situasjon.

Problemer med å få åpnet lukeløp eller annet manøvrerbart flomløp er den type kritisk situasjon som dameierne oftest har opplevd.

De alvorligste situasjoner oppstår i de tilfeller magasinet stiger meget raskt ved bortfall av avledningsevne.

Det synes å være typisk at erfaringer fra unormale situasjoner er personlige og i meget liten grad nedfelt i skriftlig materiale. Det synes også å ha vært unntaksvis at NVE-T blir gjort kjent med denne slags problemer (i motsetning til f.eks. rene skadetilfeller som kan observeres ved en befarings).

Erfaringsoverføringer

2.9 Registrering av ytre påkjenninger

Hovedlastene på en dam vil være:

- flommer
- bølger
- temperatur

Hvor store er de reelle lastene?

Disse lastene er fastlagt på grunnlag av teoretiske beregninger. Både beregningsgrunnlag og teoretisk beregningsmodell kan innholde store usikkerheter. En registrering av de laster som virkelig opptrer på en damkonstruksjon vil være et viktig element for å oppdage feilvurderinger i fastlegging av disse lastene.

Hvor store tilløpsflommer har virkelig opptrådt etter at dammen ble bygget?

■ Flommer

De største årlig opptredende høst- og vårflokker (tilsigflokker) bør fastlegges. Dette kan skje ved hjelp av:

- Vannstandsregistreringer i magasinet
- Driftsopplysninger vedrørende netto tilførte vannmengder gjennom overføringer og kraftstasjoner.

Registrering av flommer bør skje ved de største og viktigste av våre damanlegg. Rapportering bør skje i sammenheng med hovedtilsynsrapportering (3-5 år) eller i forbindelse med en større sikkerhetsmessig revurdering av anlegget (15-20 år). Dameiere bør vurdere om ens anlegg er av slik karakter at slike flomregistrering bør gjennomføres og evt. ta det med i sine rutiner. NVE-T bør orienteres.

Palagnedra dam i Sveits

Følgende historie fra Sveits illustrerer betydningen av å registrere store opptredende flommer. Etter ca 20 års drift ble en dam utsatt for en stor flom. Dammen ble overtoppet og gikk til et delvis brudd. Flommens størrelse ble beregnet til 3 x dimensjonerende flom. Ved en nærmere gjennomgang av data viste det seg at dimensjonerende flom var blitt overskredet hele 6 ganger i løpet av dammens 20 årige levetid.

Etter ulykken ble dammen bygget om og gitt en større flomavledningsevne.

Registrering av vind og bølger

■ Bølger

Store opptredende bølgelaster kan registreres ved bruk av:

- Instrumentering i bøyer
- Manuell registrering og fotografering i uværsituasjoner.

Bølgelaster kan også registreres indirekte gjennom vindmålinger. Vindmålinger bør omfatte vindintensitet og vindretning.

Registrering av vind og bølger bør settes igang ved et utvalg av dammer slik at de ulike distrikter dekkes. NVE-T bør koordinere dette og gi pålegg til et utvalg av dameiere om å gjennomføre dette.

2.10

Vedlikehold, reparasjon og ombyggingsarbeider

Hva er vedlikehold og hva er ombygging?

Ved ombygginger og større utbedringer skal damforskriftenes krav til dokumentasjon og sikkerhetsnivåer overholdes. I en del tilfelle kan det være tvil om arbeidet er så omfattende at denne bestemmelse gjelder. I slike tilfelle bør en alltid underrette NVE-T på forhånd om arbeidene en akter å utføre på dammen.

I sitt program for ivaretagelse av sikkerhet i driftsfasen bør dameieren ta med bestemmelser om saksbehandling ved alle slags utbedringsarbeider. Det er især viktig at arbeidene blir godt dokumentert for ettertiden.

Slik dokumentasjon bør omfatte:

- Tegninger, beskrivelse av utførte arbeider.
- Beregninger, sikkerhetsvurderinger.
- Beskrivelse av bakgrunn for reparasjonsarbeidene

3 TEKNISKE EMNER

I dette kapitlet behandler vi tekniske emner som:

- Sikkerhetsproblemer knyttet til flom, som omfatter usikkerhet i flomangivelser og muligheter for tilstoppinger og manøvreringssvikt ved flomløp. Videre behandler vi beregningskriteriene for flomløp med sjakt/tunnel.
- Lekkasje og overtopping av fyllingsdammer.
- Aldringsprossene ved dammer.
- Sikkerhetsproblemene knyttet til faren for ras i magasinet.

3.1 Flomsikkerhet

Flom utgjør den viktigste risiko for dammer

Årsaker til overtopping

Flom er ikke bare vannmengder

Med flomsikkerhet menes sikkerheten mot brudd p.g.a. flom. Et slikt brudd vil normalt utvikles som en overtopping. Dette har vært hendelsesutviklingen ved mange dambrudd, og overtopping under flom må ansees for å være en av de større potensielle dambruddårsaker. Bruddet vil også kunne utvikles ved erosjon i flomløpets vannvei.

Overtopping vil rent teknisk kunne skyldes:

- Opptrådte flommer er mer omfangsrike enn hva som er forutsatt ved bygging (større vannmengder, mer drivgods, vanskeligere totalsituasjon).
- Dammen tåler ikke så høye vannstander som forutsatt.
- Flomløpet har ikke den forutsatte kapasitet.

I de tilfelle at flomløpet har mindre kapasitet enn forutsatt skyldes dette:

- Flomløpets faktiske kapasitet ved åpent løp er mindre enn hva som teoretisk var beregnet.
- Flomløpet er tilstoppet.
- Luker, nåler o.l. i flomløpet er ikke blitt åpnet som forutsatt.

Analysen av dammers sikkerhet mot brudd ved storflommer bør inneholde vurderinger av alle de ovennevnte punkter. Det har dessverre vært normalt å begrense flomvurderinger og kapasitetsvurderinger til rene vannmengdebetragtninger ved åpne løp. En ekstrem flom er en katastrofesituasjon som må analyseres.

Damforskriftenes krav vedrørende flommer er trolig det punkt hvor damforskriftene avviker mest i fra tidligere praksis. Men også hva gjelder bølger og krav til fribord er damforskriftene strengere enn tidligere praksis. Disse forhold må sees i sammenheng.

En fullstendig analyse av dammers sikkerhet mot brudd p.g.a. flommer inneholder følgende hovedelementer:

- Flomanalyse. Det vises til kapittel 3.2
- Flomløpsanalyse. Det vises til kapittel 3.3
- Overtoppingsanalyse. (Analyse av damkroppens evne til å tåle høye magasin vannstander.) Det vises til kapittel 3.4.

Tilstopping Funksjonssvikt

Tunnel/sjakt Flomløp

PMF-kravet strengt

- Bølgeanalyse
- Konklusjon og sammenfatning

En revurdering av en dams flomsikkerhet bør inneholde en sammenfatning av forutsetninger og resultater, og en begrunnet konklusjon om hvorvidt tiltak er nødvendig.

Det bør skilles mellom 3 hovedvarianter av konklusjon:

- tilfredsstillende damforskriftenes krav
- tilfredsstillende ikke damforskriftenes krav, men tiltak anses unødvendig
- tilfredsstillende ikke damforskriftenes krav, tiltak er nødvendig

Dersom tiltak er nødvendig, må dette følges opp med et forslag til ombygging.

3.1.2 Sikkerhetsrevurderinger

Det anbefales at dameierne gjennomfører fullstendige analyser av sikkerheten mot brudd p.g.a. flommer for alle nye anlegg og alle eksisterende anlegg. Omfanget av analysene bør tilpasses dambruddkonsekvensene. Dette gjelder især tilstopningsanalyser og analyser av funksjonssvikt ved manøvrerbare flomorgan.

Revurderinger av eksisterende anlegg bør foruten de nye vurderingene også inneholde en oppsummering av tidligere beregninger/modellforsøk. Dette bør omfatte forutsetninger og resultater vedrørende:

- flomstørrelser.
- avledningskapasiteter.
- flomvannstander.
- bølgehøyder og bølgeoppløp.
- fribord.

Det er spesielt viktig at revurderinger gjennomføres for anlegg som er sårbare for økte flomlaste. Dette vil i første rekke være:

- anlegg med tunnel/sjakt i flomløp
- anlegg med luker i flomløp

3.2 Flomanalyse

Flomanalyser kan inndeles i følgende deler:

- Tilløpsflommer (Q-1000 og PMF)
 - Tilløpsflom fra lokalfelt.
 - Tilløpsflom fra ovenforliggende regulert magasin.
 - Overføringer fra andre felt.
 - Nødtappinger fra ovenforliggende magasin.
- Avløpsflommer (Q-1000 og PMF)
- Magasin vannstander ved Q-1000 og PMF

Damforskriftenes bestemmelser og den praksis som har utviklet seg vedr. flomanalyser er i hovedsak god. Vi har imidlertid noen synspunkter på enkelte elementer i analysen.

3.2.1 Påregnelig maksimal flom (PMF)

Damforskriftenes pkt. 6.8 slår fast at for alle dammer skal det som ulykkeslast regnes med PMF.

Dette krav gjelder for alle dammer som kommer inn under forskriftene, d.v.s høyde over 4 m og bygget etter 1981. For dammer bygget før 1981 vil damforskriftenes krav danne basis for en uformell norm, og mulige enkeltstående krav/pålegg fra NVE-T.

Etter vårt skjønn er et generelt krav om at alle dammer skal tåle PMF for strengt.

For nyanlegg og ombygginger av mindre dammer med små bruddkonsekvenser, og ved enkelte typer elvekraftverksdammer bør PMF-kravet modereres.

Ved vurdering av eksisterende anlegg bygget/planlagt før 1981 bør det i tillegg utvises fleksibilitet ved saksbehandlingen.

Krav om tiltak for slike dammer må vurderes i lys av følgende momenter:

- Anleggets flomavledningskapasitet i forhold til PMF-kravet.
- Dambruddkonsekvensene.
- De praktiske mulighetene (kostnadene) for å tilfredstille PMF-kravet.
- Sannsynlighet for dambrudd p.g.a flom.

Det bør også kunne overveies å sløyfe en PMF-beregning i de tilfelle hvor det enkelt kan påvises at dammen kan tåle vannstand godt over mulige påregnelige maksimalvannstander.

3.2.2 Usikkerhet i analyse

Det grunnlaget som analysen bygger på vil kunne ha meget varierende kvalitet.

Det kan synes som om dagens praksis tar lite hensyn til dette. Selv om grunnlaget for analysen oftest fremgår av dokumentasjonen, bør det være en sammenfatning av grunnlaget med en vurdering av kvaliteten og de usikkerheter analysen har. Ved spesielt dårlig grunnlag bør en ta hensyn til dette ved fastleggelse av analysens konklusjoner.

3.2.3 Overføringer fra andre felt

Ved enkelte anlegg utgjør overføringene store deler av den totale tilløpsflom. I slike tilfelle bør fastlegging av maksimale overføringskapasiteter skje med spesiell aktsomhet.

Kapasitetsfastsettelse under prosjektering av et anlegg har normalt inngått i en økonomisk analyse, og gjenspeiler en gjennomsnittlig forventet kapasitet.

Ved en flomanalyse bør en benytte en kapasitet som er fastlagt på grunnlag av et høyt Mannings tall (37). Dersom tverrsnittene ikke er profilert og en kun kjenner teoretisk tverrsnitt bør analysen baseres på et antatt gjennomsnittlig tverrsnitt hvor det er lagt inn en stor prosent overfjell.

3.2.4 Arealreduksjonsfaktor på nedbøren

Ved beregning av flomstørrelser basert på nedbøringelser vil basis være en angivelse av punktnedbør. Den gjennomsnittlig nedbør over et areal blir beregnet på basis av denne ved bruk av en arealreduksjonsfaktor. Størrelsen på denne arealreduksjonsfaktoren bør revurderes. Det er vårt inntrykk at med de gjeldende regler blir flomstørrelser i små felt (under 10 km²) relativt sett for små i forhold til et normalfelt (100 km²), og flomstørrelser i store felt (over 2000 km²) blir relativt sett for store.

Nedenstående tabell viser relativ arealreduksjonsfaktor for nedbør benyttet i henholdsvis Norge og Sverige (24h).

Feltstørrelse km ²	Relativ arealreduksjonsfaktor	
	N O R G E	S V E R I G E
1	1,05	
10	1,03	1,22
100	1	1
1000	0,95	0,80
10000	0,89	0,59

3.3 Flomløpsanalyse

Egenkontroll

En flomløpsanalyse bør inneholde følgende elementer:

- Kapasitetsvurdering
- Erosjonsvurdering
- Tilstoppingsvurdering
- Vurdering av driftsikkerhet ved manøvrerbare flomorgan.

3.3.1 Kapasitetsvurderinger ved åpent flomløp.

Dette er en type vurdering hvor en ved vanlig fast overløp og ulike lukeløp har hatt en tidligere praksis ved vurdering som ikke i særlig grad avviker fra den standard som damforskriftene angir. Vi ser derfor ikke noe særskilt behov for å revurdere slike beregninger.

En bør imidlertid ta en kvalitetsvurdering av tidligere utførte beregninger. En bør forvise seg om at forutsatte mål i beregningen er i overensstemmelse med det virkelig utførte flomløp. En bør også gjennomføre en vurdering av de benyttede koeffisienter, og vurdere om en har spesiell skjevinnstrømming som det bør tas hensyn til

Spesiell varsomhet ved kapasitetsfastleggelse

3.3.2 Tunnel-/sjaktflomløp

Anlegg hvor flomløpet består av et tunnel-/sjaktsystem nedenfor et fast overløp eller luke er anlegg med mindre sikkerhetsmessige reserver enn normalt. Det bør også settes en viss sikkerhetsstandard for slike anlegg som kan være strengere enn hva som ble lagt til grunn når anlegget ble prosjektert.

En revurdering av kapasiteten til slike flomløp bør derfor gjennomføres i forbindelse med en flomsikkerhetsanalyse. Det vises til kapittel 3.6 og vedlegg 4.

3.3.3 Tilstoppingsvurdering

Tidligere vurdering av flomløpskapasitet inneholder normalt ikke tilstopningsvurderinger. Slike vurdering bør gjennomføres for både nye og eldre anlegg. Dette er nærmere omtalt i kapittel 3.4 og vedlegg 2.

3.3.4 Vurdering av driftsikkerhet ved luker i flomløp

Tidligere vurderinger av flomløpskapasitet inneholder normalt ikke slike vurderinger. Dette bør gjennomføres for både nye og eldre anlegg, og er nærmere omtalt i kapittel 3.5.

3.4 Tilstopping av flomløp

Tilstopping av flomløp ved drivgods er ikke uvanlig i flomsituasjoner. Særlig i situasjoner der det går løsmasseras i bratte lier kan store mengder trær med røtter og greiner havne i vassdraget, jfr. det som skjedde ved Palagnedra dam i Sveits. Beretningene fra "Storofsen" i 1789 forteller at dalsider med hus, skog o.a. gled nedover og endte i og ved Lågen.

Vi har også eksempler fra Norge på at snøras/steinsprang har blokkert overløp.

Tilstopping av flomløp er et av de viktigste risikoelementene som kan føre til at flomløp har mindre kapasitet enn forutsatt og at dammer dermed går til brudd.

En tilstoppsvurdering bør inngå som en ulykkeslastvurdering og første trinn bør være en vurdering av konsekvensene dersom full tilstopping skjer.

Hovedelementene i en slik vurdering bør være følgende:

- **Skred-/rasvurderinger.** Vurderinger vedrørende muligheten for drivgodsskapende ras i dammens nedslagsfelt.
- **Tilstoppingsmuligheter.** Overløpets evne til å avlede drivgods vurderes.
- **Beredskap.** Dameiers mulighet til å oppdage og stanse drivgods vurderes.
- **Konsekvenser.** Konsekvensene av eventuell tilstopping av flomløp vurderes.

Tilstoppingsvurderinger bør gjennomføres

Ved overtoppings sikre
betongdammer bør mulig
tilstopping aksepteres

3.4.1 Konsekvensvurdering

Det foreligger følgende konklusjonsmuligheter:

- Dammen vil ikke gå til brudd
- Dammen vil kunne gå til brudd. Bruddet har kun mindre, akseptable konsekvenser.
- Dammen vil kunne gå til brudd. Bruddet har større, uakseptable konsekvenser.

Det er kun i sistnevnte tilfelle at en bør kreve sikkerhet mot tilstopping som en ulykkeslast. Alle dammer bør imidlertid kunne klare mindre drivgodsmengder (1–5 trær) uten at brudd inntreer i kombinasjon med normale flommer (50 årsflom).

3.4.2 Skred-/rasvurderinger

Vurderingene bør inneholde en kortfattet beskrivelse av omfang og art av potensielle rasområder i nedslagsfeltet, og erfaringer vedrørende ras og drivgods i vassdraget.

Skred/ras som kan føre til at større mengder drivgods kommer i vassdraget og til overløpet ved en dam vil normalt være av følgende type:

- normalt løsmasseskred (flomskred)
- kvikkleireskred

Alle områder i nedslagsfeltet som sokner til elv/bekk utgjør den potensielle faresone. Utløsning av slike skred har også et klart fysisk sammenfall med store nedbørmengder og flommer.

Vurderingene bør konkludere med en rangering av følgende forhold:

- Skred-/rassannsynlighet
- Skred-/rasomfang
- Angivelse av maksimal trehøyde i de mulige skredområdene

3.4.3 Tilstoppingsvurderinger

Tilstopping kan skje ved flere måter:

- Drivgods kan blokkere hele eller deler av vannveien ved flomløpet.
- Drivgods kan forhindre manøvrering av luker i flomløp.
- Plutselige snø, stein eller fjellskred kan direkte blokkere vannveien ved flomløpet.
- Snø og isfonner kan forhindre eller redusere overløp ved overløpsterskel.
- Isdannelse i tunnel/sjakt kan redusere kapasiteten ved slike anlegg.
- Isdannelse og isflak kan redusere kapasiteten ved overløp.
- Flomløpets vannvei kan bli redusert ved en gradvis utrasing, tilgroing i flomløpet.

Vurdering vedr. alle mulige tilstoppingsmåter bør gjennomføres.

De viktigste tilstoppingsmåter å vurdere er de to førstnevnte. Det vil i hovedsak være disse tilstoppingsmåter som vil bli behandlet i rapporten.

De andre tilstoppingsfenomen blir kun kort omtalt.

Vurdering av flomløpets evne til å avlede drivgods bør ende i en konklusjon om sannsynlig grad av tilstopping ved den fastlagte ulykkeslast.

■ Fast overløp

Tilstoppingsmulighetene ved faste overløp er undersøkt i modell ved Sintef-NHL, og det vises til delrapport nr. 4 "Tilstopping av flomløp". Det vises også til vedlegg 2 "Tilstopping av faste overløp".

Faste overløp uten bro kan regnes som en sikker konstruksjonstype mot tilstopping. Tilstopping av skogvirke vil være av midlertidig karakter ved lave overløpshøyder.

I de tilfelle at en har bro over overløpet vil tilstopping av skogvirke utgjøre en betydelig sikkerhetsrisiko. Pilaravstand vil ofte være så liten at tilstopping vil skje dersom tilstrekkelig mengde skogvirke skal passere dammen.

Ved faste overløp uten bro
skjer ikke tilstopping

Broer ut gjør en stor tilstopningsrisiko

Dersom tilstopping er uakseptabelt bør broer over overløp i mange tilfelle fjernes.

■ Lukeløp

Strømningsforholdene ved lukeløp vil være slik at flytende trær har en tendens til å rette seg inn i strømningsretningen og dermed unngå tilstopping. Trærne kan imidlertid kile seg fast mellom f.eks. lukebein og pilar, og forhindre videre manøvrering av luke.

■ Sjakt/tunnel - flomløp

Tilstopping i sjakt/tunnel vil kunne skje dersom dimensjonene på mulig drivgods (trær) er store i forhold til tverrsnittdimensjonene på sjakt og tunnel. De kritiske punktene vil være innløp til sjakt og overgang sjakt/tunnel.

Det bør tas med i vurderingen at en midlertid tilstopping først kan skje ved overløpsterskelen, og et større antall trær så kommer samlet i en bølge mot sjaktinnløp.

■ Plutselige skred som blokkerer vannveien ved flomløpet.

Det bør vurderes om terrengforholdene ved overløpet er slik at slike skred er mulig.

Fysisk inngrep

I de tilfelle der forholdene kan synes usikre bør en vurdere å bedre forholdene ved fysisk inngrep som f.eks.

- konstruksjoner for å oppfange skred
- sikring av rasfarlig skråning
- flytting av overløp

Overvåking

Aktuelle virkemiddel for å redusere risikoen knyttet til slike skred er å foreta inspeksjoner under flom eller ha en automatisk vannstandsmåler i magasinet som gir varsel til en betjening ved unormal høy vannstand, eller en TV-overvåking av overløpet.

Vi har i Norge erfart at steinskred har fylt deler av vannveien ved overløpet. Skredet ble imidlertid oppdaget og lastet ut før noen ytterligere skade skjedde.

Registrere forholdene

■ Snø og isfonner ved overløpsterskel

Gjennom inspeksjoner bør dameierne danne seg et inntrykk av om slike snø- og isfonner danner seg ved overløpet. I mange tilfelle vil forholdet være slik at fonner danner seg, men at tidspunktet for vårfloem med fullt magasin er så seint at fonnene har smeltet.

Dameiere som har slike forhold bør registrere fonndannelse og når på året de normalt forsvinner. Dersom magasinfyllingen et år er unormalt tidlig bør overløpet inspiseres og evt. tiltak iverksettes før magasinet når H.R.V.

Tiltak

Dersom overløpet er helt tildekket vil vi anbefale at deler av fonnen lastes ut slik at vannet får fritt leie over deler av overløpet.

Forholdet kan spesielt være aktuelt ved flomløp med sjakt/tunnel. I spesielle tilfelle kan det være nødvendig å legge tak over flomløpet.

Hvor lang tid det vil ta for vann å bryte seg en kanal gjennom en snøfonn på naturlig vis er meget usikkert, og vi vil fraråde at en baserer seg på dette med mindre en har situasjonen under full kontroll, og kan laste snøen/isen ut om nødvendig.

Vi har i Norge eksempler på både at en har lastet ut snøfonner ved overløp, og at det er anlagt tak over flomløpet.

Hindre lufttrekk

■ Isdannelse i tunnel/sjakt

Gjennom inspeksjoner bør dameierne danne seg et bilde av i hvilken grad slik isdannelse skjer og når de normalt smelter.

Slik isdannelse vil kunne redusere kapasiteten på sjakt/tunnel i en tidlig

fase på flommen, og det er avgjørende ved bedømmelsen av om hvorvidt dette er akseptabelt at flomutviklingen ikke skjer raskt. Isdannelsen vil kunne reduseres ved å sperre for luftgjennomstrømming ved utløp av tunnel.

Rennende vann vil fjerne isdannelse over tid, og vi vil anse at dette i første rekke representere en fare i tilfelle det danner seg en nærmeste tett ispropp i sjakt eller tunnel.

■ Overflateis

I de tilfelle at overløp kan skje under vinterforhold med is i magasinet bør det regnes med en redusert flomløpskapasitet tilsvarende effekten av isen.

■ Gradvis utrasing, tilgroing i flomløpet

I de tilfelle der overløpsarrangementet ikke består av en fast definert terskel, men et utsprengt eller naturlig dannet løp kan kapasiteten gradvis over år reduseres ved utrasing eller tilgroing. Ved slike overløp bør en gjennom inspeksjoner og oppmålinger forvise seg om tverrsnittet er som forutsatt, og om nødvendig renske opp.

Tverrsnittreduksjoner kan også være et problem på områdene foran og bak en eventuell fast terskel.

Registrering

3.4.4. Beredskap mot tilstopping

Ved en samlet vurdering av tilstopping som risikoelement ved et damanlegg inngår også en vurdering av dameiers beredskap mot tilstopping.

En slik vurdering bør bestå av følgende:

- mulighet til å oppdage drivgods.
- mulighet til å stanse drivgods før flomløp.
- mulighet til å oppdage og fjerne tilstopping i tide.

3.5 Driftssikkerhet ved manøvrerbare flomløp

Flomløpskapasitetet kan bli mindre enn forutsatt p.g.a. manøvreringssvikt

3.5.1 Generelt

Det vil alltid være en mulighet for at flomløpskapasiteten i en flomsituasjon er mindre enn forutsatt pga. svikt ved manøvreringen.

En fullstendig analyse av kapasitet ved manøvrerbare flomløp må derfor inneholde vurderinger knyttet til svikt ved manøvreringen.

Prosjektet har fått gjennomført eksempler på slike analyser, og disse er presentert i delrapport 6, del 1 og del II.

Manøvrerbare flomløp vil i praksis si enten lukeflomløp eller nåle/bjelkestengsel.

3.5.2 Hensikten med analysen

En funksjons-sikkerhetsanalyse av et manøvrerbart flomløp vil kunne inngå som et ledd i flere sammenhenger.

- Beredskapsplan.

Analysen vil kunne inngå som en del av analysedelen i en beredskapsplanlegging, og legge grunnlag for en innsatsplan i tilfelle funksjonssvikt.

- Reservemuligheter.

Analysen kan klargjøre hvordan en kan bedre reservemulighetene ved anlegget.

- Teknisk utforming, organisasjon.

Analysen kan gi grunnlag for beslutning om å endre teknisk utforming eller organiseringen av arbeidet i flomsituasjoner.

	<ul style="list-style-type: none"> • Sikkerhetsvurdering. <p>Analysen kan gi en bedre oversikt over den samlede sikkerhet mot overtopping. Samlet sannsynlighet for overtopping vil generelt bestå av 2 ledd.</p> <ul style="list-style-type: none"> - sannsynlighet for overtopping med alle flomløp åpne. - sannsynlighet for overtopping med ulike typer av funksjonsvikt. <p>Analysen kan peke ut de avgjørende typer av funksjonssvikt og angi sannsynlighetsnivåer.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Driftsikkerhet for kraftproduksjon. <p>Prosjektets utgangspunkt for å foreslå funksjonsikkerhetsanalyser er hensynet til damsikkerheten. Slike analyser kan også ha en misjon for å minske økonomiske driftstap.</p>
	<h3>3.5.3 Opplegg for analysen</h3> <p>En analyse bør gjennomføres ved et samarbeid mellom driftspersonale som er lokalkjent på anlegget, og en fagperson (ekstern eller intern) som kan se problemstillingene med "nye, friske øyne". En viss assistanse av personell med kompetanse innen analysemetoder kan være ønskelig ved større analysearbeid.</p>
Lokalkjennskap	
"Nye, friske øyne"	
Analysekompetanse	<p>Analysen bør inneholde følgende elementer:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Beskrivelse av flomavledningssystemet. <p>Analysen må baseres på en beskrivelse av det eksisterende tekniske system med tilhørende organisasjon rettet inn mot å betjene flomorganene.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tekniske data vedr. luker og opptrekk. • Tekniske data vedr. vannstandsregistrering, signaloverføring, styringsystemer. • Organisasjon, bemanning. • Instruksjer og praksis vedr. betjening av flomorgan. • Reservemuligheter.
Når hindrer vannet videre manøvrering?	<ul style="list-style-type: none"> ■ Konsekvenser av høy magasin vannstand. <p>Analysen må inneholde en systematisk vurdering av hvilke blokkeringsmuligheter som skjer ved ulik vannstand med hensyn til manøvrering. Eksempler på dette kan være:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hånd sveiving umulig fra v.st. HRV+1m • Normal åpning av luke umulig ved v.st. HRV+1,5m • Automatisk vannstandsregistrering virker ikke v.st. over HRV+2,0m • Fyllingsdamseksjon går til brudd ved v.st. HRV+4m
Unormal vannføring fra ovenforliggende anlegg	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tilgrensede anlegg <p>Naturgitte flommer vil alltid være en av de lastsituasjoner som bør underlegges en analyse. I tillegg kan imidlertid feil ved drift av anlegg, som påvirker vannføringen ved det anleggsted vi analyserer, være en avgjørende lastsituasjon.</p> <p>En klargjøring av slike mulige lastsituasjoner må inngå i analysen. Evnen til å mestre slike lastsituasjoner kan være dårligere om vinteren, og det kan være nødvendig å skille ut "vintersituasjoner" som egne lastsituasjoner.</p> <p>Typiske eksempler på lastsituasjoner fra tilgrensede anlegg:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plutselig driftstans i kraftverk med inntak i det aktuelle magasin. • Plutselig og uventet åpning av flomluker ved nærmeste ovenforliggende verk.
Konsekvensavhengig analyse	<ul style="list-style-type: none"> ■ Konsekvensvurdering av dambrudd. <p>Betydningen av å ha stor funksjons-sikkerhet på flomavledningen, og nivået på den totale sikkerhet mot overtopping bør kunne avpasses etter konsekvensene ved dambrudd.</p>

I tilfelle der dambruddkonsekvensene er små bør kravet til sikkerhet kunne settes lavere, og omfanget av en funksjonssikkerhetsanalyse bør kunne reduseres.

En sammenfatning av konsekvensvurderingene ved dambrudd bør inngå i analysen.

■ Tekniske data om flomkapasiteter, flomstørrelser og magasinareal.

Dette er blant de grunnleggende data for analysen. Samlede flomløpskapasiteter bør angis under forutsetning av forskjellig grad av manøvreringsfeil.

Oversikt over magasinarealer i det aktuelle høydenivå opp til damtopp er nødvendig for å kunne danne seg et bilde av hvor raskt en kritisk situasjon utvikler seg.

Flomstørrelser, max verdi og forløp bør angis for flommer med gjentakintervall fra 10 til 10^6 år. I tillegg til maksimalverdien er det ved funksjonsviktanalyser spesielt viktig å anslå hvor raskt flommen kan øke.

Angivelsene vil ofte baseres på beregningene av flomstørrelsene angitt i damforskriftene. (Q-1000 og PMF).

Ved bruk av disse vil en i enkelte tilfelle sette sannsynligheten for opp treden av en viss flomstørrelse større enn den i realiteten er. Dette skyldes at dimensjonerende flom skal beregnes under forutsetning av fulle magasiner, og teoretisk ugunstig forhold vedrørende overføringer.

Ved en sannsynlighetsbetraktning kan en ta hensyn til sannsynlighetene for disse forutsetninger. Virkningen av ikke fulle magasin vil kunne være tosidig. For det første vil tilløpsflommene til det aktuelle magasin kunne dempes i evt. ovenforliggende magasin, og for det andre vil flommene kunne dempes mer i det aktuelle magasin.

■ Vannstandsutvikling ved ulike lastsituasjoner.

Dette er en ren hydraulisk regneoperasjon for å klarlegge hvilke lastsituasjoner som vil føre til en fastlagt uønsket vannstand (f.eks. bruddvannstand), og i hvilket tempo vannstandsutviklingen skjer. Det er meget viktig å få en oversikt over hvor raskt en vanskelig situasjon kan utvikle seg for å bedømme effekten av mulige mottiltak.

Denne klarleggingen bør en foreta ved alle anlegg med manøvrerbare flomorgan uavhengig av om en gjennomfører en mer omfattende feiltreanalyse eller liknende. Et spesielt viktig lasttilfelle ved et elvekraftverk med bare luker som flomorgan er følgende:

- Kraftstasjonen faller ut og ingen luker åpner.

Hovedspørsmålene som en bør finne svar på er følgende:

- Hva har en av tid til rådighet før åpnemulighetene for lukene blir blokkert?
- Hva har en av tid til rådighet før vannstand når bruddvannstand?
- Hva er avledningskapasiteten med lukkede luker?

■ Funksjonssikkerhetsanalyse (pålitelighetsanalyse).

Hensikten med en slik analyse er følgende:

- Klarlegge hvilke feil som kan oppstå.
- Klarlegge hvilke årsaker feilene kan ha.
- Klarlegge hvordan en kan unngå konsekvensene av feil ved å sette inn reserver eller reparere komponentene.

En videreføring av funksjonssikkerhetsanalysen vil være å systematisere de tiltak en kan gjennomføre for å unngå feil.

- Vedlikehold, prøving etc. for å hindre at feil oppstår.
- Klare reparasjonsrutiner.

Reell flomrisiko påvirkes av magasinindisponering

Hvor raskt vil vannet stige dersom som kraftstasjonen faller ut og ingen luker åpner?

Hvilke feil kan oppstå?

Årsak og konsekvenser

Reserver

Feil, årsak til feil og konsekvens av feil, er relative begreper, idet feil kan settes i ulike trinn. En feil blir i neste omgang en feilårsak.

For analyse av funksjonssikkerhet for flomluker bør øverste feiltrinn (topphendelse) være av 2 typer:

1. Magasin vannstand er høyere enn en gitt uønsket vannstand (f.eks. bruddvannstand).
2. Plutselig, ikke planlagt, vannslipping større enn en gitt vannføring.

Årsak til feil 1 kan deles i 3 hovedtyper i trinn 2.

- 1.1 Alle luker funksjonerer i kombinasjon med flom større enn Q_1 .
- 1.2 En luke funksjonerer ikke i kombinasjon med flom større enn Q_2 .
- 1.3 Flere luker funksjonerer ikke i kombinasjon med vannføring større enn Q_3 .

Inndeling av trinn 3 må tilpasses konstruksjonstype, men kan for feil 1.2 f.eks være:

- 1.2.1 Defekt strømkabel til en luke.
- 1.2.2 Defekt motor.
- 1.2.3 Defekt opptrekk.
- 1.2.4 Fastlåst luke.
- 1.2.5 Manglende signal for åpning av luke.

Videre inndeling av feilårsaker i trinn må tilpasses konstruksjonstype og omfanget av analysen. Det kan være naturlig å dele enkelte feil opp i flere trinn enn andre. Hensikten med all videre oppdeling må være å få frem ulikheter vedrørende reparasjon og reservemulighet for de ulike typer av feil.

Feil 1.2.3 "Defekt opptrekk" kan f.eks deles i undergruppene:

- 1.2.3.1 Defekt spill
- 1.2.3.2 Defekt opptrekkstang
- 1.2.3.3 Defekt opptrekkfeste

Oppdeling er imidlertid unødvendig dersom en anser at reparasjons- og reservemulighetene er noenlunde felles for alle 3 feilgrupper.

3.5.4 Analysemetoder

Den "analysemodell" som en bygger opp vil være en forenkling av det virkelige system. En må velge en detaljeringsgrad som er "nødvendig og tilstrekkelig" for at modellen skal bli realistisk nok for analysens formål. Det er viktig å ha blikk for hvilke ting som bør fremstilles med stor detaljeringsgrad.

Til hjelp ved gjennomføring av pålitelighetsanalyser finnes flere ulike metoder.

De viktigste av disse metodene er:

- Feilmodi- og feileffektanalyse (FMEA)
- Grafisk feilutviklingsanalyse (GFUA)
- Feiltreanalyse (FTA)

FMEA er en metode for å forutsi effekt av feil i komponenter og undersystemer på det totale system. Man bruker et FMEA-skjema til å beskrive den enkelte komponent, feil og effekt av feil.

FTA er en formalisert metode som gir mulighet for systematisk å klarlegge mulighetene for at en definert uønsket tilstand skal inntreffe. Metoden tar utgangspunkt i en uønsket tilstand, og man går "baklengs" i systemet og søker på hvert nivå å kartlegge hvilke enkelthendelser som kan bidra til at den uønskede tilstanden inntreffer.

Gjennom en feiltreanalyse identifiserer man systematisk måtene en gitt uønsket hendelse kan inntreffe på, og man fremskaffer en sannsynlighetsmodell for beregning av systemets sviktsannsynlighet når data om enkelthendelsene i treet er kjent.

Feiltreanalyse

Logisk blokkdiagram

I enkelte tilfelle kan det være mer hensiktsmessig å benytte et logisk blokkdiagram (pålitelighetsnettverk) istedet for feiltre. Blokkdiagrammet representerer en funksjonsmodell av systemet. Systemfunksjon opprettholdes så lenge det er mulig å komme fra inngangspunktet i diagrammet til utgangspunktet via blokker som representerer funksjonerende komponenter. En kan oppfatte hver blokk som en ventil som enten er stengt eller åpen. Er den åpen, funksjonerer komponenten som blokken representerer. Systemet som helhet funksjonerer dersom væske kan strømme gjennom hele systemet. Dersom 2 blokker står i parallell må begge blokkene stenge (dvs. feil oppstå) for at hele systemet skal feile. Dersom 2 blokker står i rekke er det nødvendig at kun en blokk feiler for at hele systemet skal feile.

Bruk av feiltre og logiske blokkdiagram (pålitelighetsnettverk) er demonstrert gjennom eksemplene i delrapport 6. Vi finner at især teknikken med de logiske blokkdiagram er velegnet for analyser av lukesvikt.

GFUA er en mer omfattende metode hvor FTA utgjør en del av metoden. Både årsak til funksjonsfeil og konsekvensene av denne kartlegges i GFUA-diagrammet. Modellen er spesielt velegnet til analyse av systemer og situasjoner der rekkefølgen av hendelsene i spiller en avgjørende rolle.

Dårlig grunnlag for kvantifisering

3.5.5 Kvantifisering av feilsannsynlighet

Det statistiske grunnlaget for å fastlegge feilsannsynligheter vedrørende luke-manøvrering er meget dårlig. En er henvist til å gjøre en vurdering ut fra erfaringsgrunnlaget. Det er viktig å se feilsannsynligheten i lys av den situasjon anlegget er under når feil inntreffer.

Det er naturlig å skille ut situasjonene:

- ekstrem stor flom
- vinterforhold

Feilsannsynlighetene for en del komponenter vil klart være større under disse forhold enn normalt. I mange tilfelle vil en rangering av feilsannsynligheter innen grovinnvalgte kategorier være nyttig. Feilsannsynligheter kan i mange tilfelle også best bedømmes ved å anslå feilsannsynligheten for en hendelse på et forholdsvis høyt nivå. F.eks. feilsannsynligheten for at en luke ikke åpner innen et gitt tidsperiode under en flomsituasjon. En fordeling av sannsynlighet etter feilårsak foretas deretter.

Ved fastleggelse av feilsannsynligheter er det viktig å ta hensyn til tidselementet. Å lykkes i en operasjon vil klart ha større sannsynlighet dersom en har 3 døgn på seg i motsetning til 1 time.

Analyser kan i stor grad gjennomføres uten noe element av kvantifisering av feilsannsynlighet, eller med en meget grov form for kvantifisering og ha stor verdi gjennom identifisering av feilmuligheter og reservemuligheter. Det er derfor viktig at skepsis til selve kvantifiseringsdelen av analysen ikke fører til skepsis mot hele analysen.

Tiltaksplan

3.5.6 Konklusjon

Analysearbeidet må avsluttes med en vurdering av sikkerhetsnivået for flom-avledningen, og hvilke endringer som kan gjennomføres for å bedre dette. Dameier bør utforme en tiltaksplan med endringer en vil gjennomføre, og angi tidsgrenser for dette.

I eksemplene i delrapport 6 er det i et eget kapittel drøftet ulike tiltak, men eksempel på dameiers konklusjon er ikke tatt med.

I vedlegg 3 vises eksempler på hvordan en slik konklusjon kan bygges opp.

3.5.7 Nåle- og bjelkestengsel

Usikkerhet vedrørende funksjonering ved nåle- og bjelkestengsler er store.

Feil ved funksjoneringen kan oppstå ved tilstopping, og ved at tilstrekkelig nåler/bjelker ikke blir fjernet.

Instruks	Nåle- og bjelkestengsel har en som oftes tved eldre dammer, og det kan være usikkerhet knyttet til behovet for å åpne disse stengslene i flomsituasjoner.
Manøvrering i forkant av flom	Det kan også være slik at manøvrering må foregå i forkant av flommen fordi det av praktiske grunner er vanskelig når vannføringen er stor. Ved en analyse av nåle og bjelkestenger, bør følgende punkter vurderes:
Erfaring	<ul style="list-style-type: none"> • Hvilken manøvrering forutsettes ved de dimensjonerende flommer. • Hvordan registreres flomutviklingen og behov for manøvrering. • Tilgjengelighet av personell som har erfaring med manøvrering av nåle- og bjelkestengsler. • Hvem har ansvar for å fastlegge omfanget av manøvreringen, og hvilke retningslinjer har en å holde seg til. • Mobilisering og transport av mannskap. • Kommunikasjonsmulighetene mellom mannskap ved dam og driftsentral. • Tilgjengelighet til nødvendige hjelpemidler under manøvrering.
Hjelpemidler	<ul style="list-style-type: none"> • Hvilke kryssende interesser har en med hensyn til manøvrering, og hvordan skal en forholde seg til ulike interessegrupper. • Oppsummering av hvilke praktiske erfaringer en har høstet ved de siste større flommer. • Behov for trening, opplæring • Mulighet for å sette inn ekstraordinære hjelpemidler under manøvrering. • Praktiske vansker som setter grenser med hensyn til manøvrering ved store vannføringer.

3.5.8 Luker

Teknisk feil	Feil ved funksjonering kan skje på mange vis avhengig av teknisk system og organiseringen av flomavledning.
Organisatoriske feil	Ved en analyse må en ta hensyn til mulighetene for tekniske feil, organisatoriske feil og menneskelige feil. En bør også analysere de enkelte faser i en flomutvikling.
Menneskelige feil	<p>Klarlegging av feil må skje ved en systematisk gjennomgang av alle ledd ved lukemanøvrering.</p> <p>Dette kan innbefatte følgende:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vannstandsregistrering – målesystem <ul style="list-style-type: none"> - Vannstandstang. - Flottør. - Neddykket vekt. - Trykkmåler. • Vannstandsregistrering - avlesningssystem <ul style="list-style-type: none"> - Manuell avlesing og rapportering. - Manuell avlesing, rapportering ved telefon, mobiltelefon eller radio. - Automatisk avlesing via telefonnett, radiolink eller høyspentnett. • Vannstandsregistrering – målehyppighet <ul style="list-style-type: none"> - Sjeldnere enn hvert 10. døgn. - 1 gang pr. 2–10. døgn. - 1 gang pr. døgn. - Flere ganger pr. døgn. - Kontinuerlig oppringbar. - Kontinuerlig overført. • Normal bemanning på dam <ul style="list-style-type: none"> - Sjeldnere enn hvert 10. døgn - 1 gang pr. 2–10 døgn - 1 gang pr. døgn - Flere ganger pr. døgn - Kontinuerlig 1 skift - Døgnkontinuerlig

- Normal bemanning ved andre driftsenheter i organisasjonen.
- Ansvarlig for å klarlegge behov for, ta bestemmelse om, gjennomføre og kontrollere lukemanøvrering
 - Stedlig damvokter.
 - Arbeidsformann fra driftsentral.
 - Brettvakt ved driftsentral.
 - Vaktingeniør ved driftsentral.
 - Overordnet ingeniør ved hovedkontor.
- Manøvreringsreglement for flomorgan
- Praktisk instruks for lukemanøvrering
- Faser i flomutvikling
 - Normal driftsfase uten flom
 - Beredskapsfase før flom
 - Normal flomfase
 - Katastrofefase

■ Ulike typer feil

En må alltid regne med at feil vil oppstå i ulike sammenhenger. For den totale sikkerheten er det meget viktig at systemene er lagt opp slik at det er muligheter for å oppdage og korrigere feil i tide. Feilanalyser bør derfor også inneholde vurderinger vedrørende dette.

Feil vil alltid kunne oppstå

Systemet bør være slik at feil oppdages og korrigeres før konsekvensene blir for store

- Tekniske feilkilder
 - Mekaniske forhold
 - feilfunksjon på vannstandsmåler
 - brudd på lukeopptrekk
 - forkiling av luke
 - kabel eller tavlefeil
 - feil ved motor
 - feil i styringsenhet
- Infrastruktur
 - veibrudd
 - strømbrydd
 - svikt i telefonforbindelser
 - tilgang til diesel/bensin
 - signaloverføringer
- Organisatoriske forhold.
 - mobilisering av ekstrapersonell i ekstreme situasjoner.
 - uklare kommando-/ansvarsforhold.
 - vanskelig tilgang til utstyr (reserveagregat, motorer, pumper, redskaper og verktøy, drivstoff, kjøretøy, kraner).
 - rot, kaos, panikk.
- Menneskelige feil.
 - feilvurderinger der systemet legger opp til en menneskelig vurdering.
 - rene feilhandlinger.
 - glemsel.
 - kommunikasjon mellom to mennesker.
 - stress, sammenbrudd.

3.6

Flomløp med sjakt/tunnel Dimensjonering og kapasitetsberegninger

3.6.1 Innledning

Flomanangivelser og kapasitetsangivelser for flomløp skjer normalt ved angivelse av beregnede sannsynlige verdier. For begge typer beregninger er det usikkerheter til begge sider for disse angivelser.

Usikkerhet i kapasitet og flomstørrelse

Flomløp med sjakt/tunnel er mer ugunstig enn vanlig fast overløp

Ved et fast overløp er forløpet av kapasitetskurven slik at usikkerhetene i flomstørrelse og kapasitet kun gir små usikkerheter i vannstand.

Ved et fast overløp med beregnet vannstand lik 2,5m over terskel ved en angitt vannføring vil f.eks. en økning av flomstørrelse lik 10 % samtidig kun gi 16 cm høyere vannstand enn de beregnede 2,5m.

Ved et flomløp med sjakt/ tunnel nedstrøms for det faste overløpet vil forløpet av den delen av kapasitetskurven som er bestemt av forholdene nedstrøms for det faste overløpet ha et mye ugunstigere forløp.

Dette gjelder især den del av kapasitetskurven som er bestemt av rørstrømning i sjakt/ tunnel over en stor fallhøyde.

Selve strømmingssituasjonen og kapasitetsfastleggingen for et sjakt-/tunnelsystem er også mer uoversiktlig og usikker enn ved et fast overløp.

De ovennevnte forhold tilsammen gjør at en ved dimensjonering og kapasitetsfastlegging for sjakt-/tunnelsystemer skal være spesielt forsiktig, slik det kreves i damforskriftene.

Spesiell forsiktighet ved kapasitetsfastleggelse

I forhold til det normale beregningsprinsipp ved faste overløp bør denne spesielle forsiktighet for sjakt-/tunnelsystemer bestå i at en gjennomfører kapasitetsberegninger med ugunstige forutsetninger og at en i tillegg reduserer de beregnede kapasiteter med en reduksjonsfaktor.

Det prinsipp som foreslås for kapasitetsfastlegging er i konsekvens, men ikke i detalj, i overensstemmelse med damforskriftenes del II pkt. 8.2.4. I tillegg foreslås enkelte nye kriterier ved dimensjonering av nye anlegg.

Prosjektets forslag fremgår av vedlegg 4, "Forslag til beregningsregler for flomløp med sjakt/tunnel".

Uheldig tidligere praksis

En gjennomgang av flomberegninger og kapasitetsberegninger for eksisterende anlegg med tunnel-/sjakt-flomløp viser at tidligere praksis vedrørende dimensjonering av slike anlegg har vært uheldig. Det er et klart behov for å revurdere slike anlegg sikkerhetsmessig.

Det vises til vedlegg 5.

Befaring og oppmålinger

■ Grunnlag og kvalitet

Det bør være en hovedregel at en beregning av kapasitet på et sjakt-/tunnel-flomløp har grunnlag i en befaring, og oppmålte virkelige lengder og tverrsnitt. Det bør også legges spesiell vekt på å gjøre flomanalysen så grundig som mulig.

Beregninger av kapasitet på flomløp med sjakt-/tunnel-avløp må utføres av personer med kompetanse på slike hydrauliske beregninger. Beregningene bør kontrolleres internt der den blir utført og i tillegg bør NVE-T gjennomføre detaljkontroll av slike hydrauliske beregninger med kompetent personell. I spesielle tilfelle bør NVE-T engasjere rådgiver for kontroll.

Resultater av modellforsøk bør alltid suppleres med en beregning.

Revurderinger bør gjennomføres

■ Revurderinger

Dameiere som har anlegg med sjakt-/tunnel-flomløp bør gjennomføre en fornyet vurdering av sine anlegg med damforskriftenes krav og tidens øvrige anbefalinger som utgangspunkt. En slik revurdering bør gjennomføres selv om vurderinger tidligere er gjort etter 1981.

NVE-T bør orienteres om arbeidet, og omfang og forutsetninger for vurderingene bør drøftes med dem. NVE-T bør ta initiativ for å få nye vurderinger gjort hos de dameiere som ikke selv tar dette initiativ.

3.7 Lekkasjer ved fyllingsdammer

3.7.1 Generelt

Vi vet fra internasjonal statistikk at brudd eller skader ved dammer som skyldes lekkasje utgjør en vesentlig del av de totale tilfeller ved fyllingsdammer.

Steinfyllingsdammer

Unormale lekkasjetilfeller har også oppstått ved norske damanlegg, og dambruddet ved Roppa i 1976 var et resultat av lekkasje.

Internasjonal statistikk synes imidlertid å fastslå at ingen store steinfyllingsdammer er gått til brudd selv om store lekkasjer har oppstått. Dette skyldes for det første at oppståtte lekkasjer tross alt har vært begrenset og at nedstrøms damtå har kunnet avlede lekkasjen uten at det har oppstått ustabilitet i tåa.

Jorrdammer

Når det gjelder jorrdammer viser internasjonal statistikk at det har skjedd brudd på en rekke dammer hvor årsaken ansees å være indre erosjon. Bruddene har oftest skjedd ved første gangs fylling av magasinet, men også etter mange år i drift og dette gir tydelig til kjenne at indre erosjon kan utvikles over lang tid.

I Norge har vi foruten våre steinfyllingsdammer også et anseelig antall mindre jordfyllingsdammer. Det er især for disse at lekkasjer utgjør en bruddrisiko.

3.7.2 Hvordan redusere sannsynligheten for brudd som følge av lekkasje
Hendelsesutvikling ved dambrudd som følge av lekkasje vil gå gjennom 4 hovedtrinn.

- vannvei oppstår gjennom sprekker i tetning eller i fundamentet.
- filteret og tetningsmaterialet er ikke selvreparerende.
- lekkasjemengden utvikles slik at nedstrøms damtå ikke tåler vannmengden.
- lekkasjetilfellet oppdages ikke tidsnok til at hendelsesutviklingen kan stoppes.

Tiltak for å redusere sannsynligheten for lekkasjebrudd kan settes inn på alle de 4 trinn, og tiltakene kan grupperes slik:

Tiltak for å bedre sikkerhet

- Konstruksjonens kvalitet
 - fundament
 - tetning
 - filter
 - damtå
 - gjennomgående konstruksjoner

Steinfylling i damtå

- Bygetempo
- Tempo første magasinifylling
- Overvåking av første magasinifylling
- Permanent lekkasjeovervåking

Ved nybygging er alle ovennevnte faktorer tilgjengelig, mens det for eldre dammer i første rekke er kvalitet tetning og damtå, og lekkasjeovervåking som er de faktorer en kan endre i praksis.

3.7.3 Sikkerhetsrevurdering

Vi anbefaler at dameiere gjennomfører vurderinger av fyllingsdammers sikkerhet mot brudd som følge av lekkasje. Slike vurderinger bør inngå som en rutinemessige beregning ved bygging av nye dammer. Vurderingene bør også gjennomføres for eksisterende dammer.

En slik vurdering bør bestå av følgende elementer:

- Vurdere damtåens kvalitet og beregne dammens evne til å tåle lekkasje, angitt i m³/s.
- Rekapitulere lekkasjeutvikling gjennom dammens levetid.
- Klarlegge grovheten til filter, angitt i D₁₅.
- Vurdere kvalitet og bestandighet på evt. oppstrøms tetning.
- Vurdere lekkasjerisiko og erosjonsbeskyttelse nedstrøms ved spesielle gjennomgående konstruksjoner.
- Klarlegge evt. sammensynkninger sammenheng med lekkasjer.
- Klarlegge hensikt og system for lekkasjeovervåking.
- Konklusjon med anbefaling om evt. tiltak vedrørende:
 - tetning
 - nedstrøms damtå

Registrering av vind og bølger

Lekkasjesårbare dammer

- lekkasjeovervåking
- større ombygging, reparasjon

Behov for å gjennomføre slike vurderinger er størst for lekkasjesårbare dammer, og for dammer med stor bruddkonsekvens.

Sortering av lekkasjesårbare dammer kan skje etter følgende kriterier:

- Fyllingsdammer hvor nedstrøms damtå består av tunnelstein, grus eller finere masse.
- Fyllingsdammer hvor en vesentlig del av damkroppen består av jordmasser.
- Dammer hvor en tidligere har hatt unormale lekkasjetilfeller.
- Dammer med spesielt lekkasjesårbare gjennomgående konstruksjoner.
- Dammer med grove filter.

Formål**3.7.4 Lekkasjemålesystem**

Registrering av lekkasje gjennom dammer er viktig for å registrere evt. unormal tilstand for en dam.

Det er forskjellige måleopplegg i bruk, og verdien av målingene varierer mye etter måleopplegg. Det er viktig at dameier vurderer behovet for lekkasjemåling ut fra en totalvurdering av dammens sikkerhet mot lekkasjebrudd og dambruddkonsekvensen.

Lekkasjeregistrering kan ha følgende formål:

- Kontroll av at dammen funksjonerer slik det var forutsatt ved planlegging ved at virkelig lekkasjemengde er av samme størrelsesorden som anslått ved planlegging.
- Kontroll av at dammen ikke gjennomgår en langsiktig endring som fører til en økning av lekkasjemengde fra år til år.
- Kontroll av om plutselige lekkasjeendringer skjer.
- Gi raskt varsel om plutselige lekkasjeendringer.
- Være ledd i et internt opplegg for varsling av dambrudd.

Systemene kan inndeles i følgende grupper:

- Manuell vurdering på stedet uten noe tilrettelagt målekonstruksjon. Ikke tallfestet lekkasjemengde.
- Manuell måling på stedet i en tilrettelagt målekonstruksjon. Tallfestet lekkasjemengde.
- Manuell måling på stedet i en tilrettelagt målekonstruksjon. Tallfestet lekkasjemengde. Signal som utløses automatisk ved lekkasjemengde over innstilt terskelverdi.
- Automatisk måling på stedet i korte tidsintervall. Manuell avlesing på stedet av de automatiske målingene.
- Automatisk måling i korte tidsintervall. Fjernoverføring av måleresultat til bemannet kontrollrom. Signal som også overføres automatisk ved lekkasjemengde over en gitt terskelverdi.

Automatisk fjernoverført måling

Dameier må legge opp til et målesystem som ivaretar de formål han anser nødvendig. Fyllingsdammer med store bruddkonsekvenser bør ha automatisk, fjernoverført måling av lekkasje.

Fyllingsdammer som har hatt store plutselige lekkasjemengder bør også ha slik automatisk fjernoverført måling av lekkasje.

Dameierens opplegg for måling av lekkasje må foruten av det rent tekniske måleopplegg bestå av vurderings- og rapporteringsrutiner.

Tilfeldige meldinger

I mange tilfelle vil lekkasje bli oppdaget på en tilfeldig måte, utenom det fastlagte opplegg for lekkasjeregistrering. Slike meldinger må selvsagt bli gjenstand for nærmere undersøkelser og rapportering hos dameier, og regler for behandling av slike tilfeldige meldinger bør inngå som en del av dameierens fastlagte rutiner.

3.8 Overtopping av fyllingsdammer

Det må klarlegges hvor høy vannstand dammen tåler

3.8.1 Innledning

Dambrudd som følge av overtopping av fyllingsdammer er blant de hyppigste forekommende bruddtyper i verden. Bruddtypen er også av en slik karakter at sannsynligheten ikke avtar etter hvert som dammen blir eldre.

En klarlegging av sikkerheten ved fyllingsdammer bør derfor omfatte en analyse av slike dammers motstandsevne mot brudd ved overtopping (bruddgrense). Slike analyser kan være aktuelt å gjennomføre i flere sammenhenger:

- Ved en vurdering om en dam tåler aktuelle ulykkeslaster uten å bryte sammen. Ulykkeslaster kan f.eks. være vannstand høyere enn dimensjonerende flomvannstand som følge av påregnelig maksimal flom eller gjenstopping av flomløp.
- Ved en beredskapsplanlegging vil det inngå å klarlegge ved hvilken vannstand dammen vil bryte sammen.
- Ved en risikovurdering av dammer vil også en slik klarlegging av dammers bruddgrense inngå.

Med "overtopping" forstås i denne rapport overtopping av tetningsselementet i dammen.

Overtoppingsanalyser vil som oftest inngå som en del i en større vurdering av sikkerhet mot brudd p.g.a. flom (kap 3.1). I delrapport 5 har vi presentert synspunkter, veiledning og råd for gjennomføring av slike analyser.

Det er vår oppfatning at det for alle fyllingsdammer bør utarbeides en overtoppingsanalyse som klargjør hvilken vannstand dammen tåler uten at brudd inntreffer.

3.8.2 Undersøkelser av damtopp

Enhver analyse vil basere seg på et forenklet bilde av de virkelige forhold ved damtoppen. De forutsetninger som her gjøres kan ofte ha større betydning enn nøyaktigheten i analysemetoden.

Følgende forhold vil ha størst innflytelse på analyseresultatet:

- toppnivå på de enkelte soner
- permeabilitet i de enkelte soner

En undersøkelse av damtopp bør i første rekke konsentreres om disse 2 forhold, men en vurdering av filtereffekten mellom sonene bør også vurderes.

I de tilfelle at en skal vurdere en vannstand som står opp over flere soner vil det være nivå på den øverste sonen som er avgjørende. Hvis f.eks. vannstanden står opp over filteret, overgangsonen og opp i støttefyllingen vil det være avgjørende å bestemme nivået til overgangsonens topp. I hvilket nivå topp morene ligger vil være av mindre betydning å få kartlagt.

På samme vis er det med permeabiliteten. Hovedtyngden av vannmengden vil gå gjennom den øverste sonen av de det går vann gjennom, og det er permeabiliteten på denne sonen som det er avgjørende å få fastlagt.

De forutsetninger som en velger å legge til grunn ved en analyse bør gjenspeile resultatene og usikkerheten i de undersøkelsene som er gjort.

Ved en ulykkeslastanalyse (f.eks. PMF) bør forutsetningene velges slik at det er en viss grad av sikkerhet for at de teoretiske forutsetningene ikke er gunstigere enn de reelle forhold.

Behov for undersøkelser bør bestemmes ut fra oppgavens art. Ved en analyse basert på et enkelt grunnlag (f.eks. kun arbeidstegninger) er usikkerheten stor og forutsetningene må velges tilsvarende dette. Dersom analysens resultat imidlertid er tilfredstillende må dette kunne aksepteres uten nærmere undersøkelser.

■ Sonenivå

Det vil være variasjon av sonenivå over dammens lengde. Valg av forutset-

Nivå på sonene

Permeabilitet

ning må gjenspeile den variasjon som er funnet ved undersøkelsene. Gjennomsnittsbetraktninger bør ikke foretas.

Betraktninger om overhøyde og setninger bør tas med når valg av forutsetning gjøres.

Overhøyde og setninger

Dersom grunnlaget er arbeidstegning eller profil som er tatt opp under byggingen, må nivåene reduseres for den setning som har skjedd fra dammen ble bygget og frem til idag. Har en målinger, benyttes disse som grunnlag for å fastlegge dette. I mange tilfelle vil ikke målingene omfatte hele perioden fra sone ble bygget, og det bør korrigeres for dette. En bør videre redusere for den anslåtte fremtidige setning for de kommende 50 år ut fra det setningsforløp en kjenner for dammen. Dersom en ikke har gjennomført målinger av setninger bør samlede setninger settes lik 1,5 % av damhøyden på vedkommende sted.

Dersom grunnlaget er undersøkelser av dagens situasjon, er det kun den fremtidige anslåtte setning en bør redusere for.

Undersøkelsesmetodene for damtopp vil selvsagt utvikles, og en vil etter hvert få et bredere erfaringsgrunnlag fra undersøkelser av damtopper. I det nedenstående er gitt anbefalinger om valg av forutsetninger med ulikt grunnlag ut fra dagens situasjon.

Ulikt grunnlag gir ulik forutsetning

- Arbeidstegning

Sone-nivåer bør settes lik 0,5 m under teoretisk nivå i fall arbeidet er utført uten daglig kontroll på det tidspunkt damtoppen ble bygget. Dersom det har vært slik kontroll bør sone-nivå kunne settes lik 0,3 m under teoretisk nivå.

- Profil av ferdig utlagt fylling

Sone-nivåer bør settes 0,1 m under profilert nivå.

- Sjaktinger

En bør alltid ha minst 3 sjakter, og ikke mer enn 200 m mellom sjaktene. Dersom avviket i resultat er stort bør sjaktantallet økes.

Ved sjaktavstand 200 m bør sone-nivåene settes lik 0,2 m under det som ble funnet i sjakten.

Ved sjaktavstand 100 m og 50 m kan dette reduseres til henholdsvis 0,15m og 0,10m.

Nivået i den enkelte sjakt bør kunne bestemmes ved gjennomsnittsbetraktning.

- Boring med prøvetaking

Undersøkelsesmåten tilsvarende i stor grad sjaktinger. En får imidlertid ikke et så fylldig bilde av forholdene som ved sjakting, og en bør derfor alltid supplere evt. boring/prøvetaking med minst en sjakt.

Valg av nivåer i forhold til sone-nivåene som blir funnet ved boring og prøvetaking bør velges som for sjakter.

- Georadar

Georadar (i sitt nåværende utviklingstrinn) gir et kontinuerlig bilde av morenetopp-beliggenhet. Beliggenhet av de øvrige soner er vanskelig å finne ved bruk av georadaren.

Undersøkelsesmetoden gir heller ingen mulighet til å danne seg bilde av permeabilitet og filteregenskaper til materialene. Georadar bør i første rekke benyttes som et supplement til sjaktinger eller boringer og ikke som egen selvstendig undersøkelsesmetode.

■ Permeabilitet

Sonenes permeabilitet er den andre avgjørende faktoren å fastlegge ved en overtoppingsvurdering.

Materialene i damtopp kan være annerledes enn beskrevet

I delrapport 5 er omtalt metoder for å fastlegge dette basert på sonens korngraderingskurve. Dette forutsetter at det blir tatt prøver ved sjaktinger eller boringer, eller at det foreligger slike korngraderingskurver fra byggekonnrollen.

Permeabiliteten kan også bestemmes ved laboratorieforsøk. Det bør tas hensyn til de forskjeller det er mellom lab.forsøk og virkelig permeabilitet på dammen.

Materialene som er brukt ved topp dam vil kunne være forskjellige fra dammens øvrige materiale selv om materialbeskrivelsen er lik. En bør derfor være forsiktig ved bruk av analysemateriale som ikke er fra damtopp.

Ved steinmateriale i overgangssone og støttefylling vil det være en andel av finkornige masser som ved lab.forsøk i stor grad kan forårsake lav permeabilitet. I et reellt tilfelle ved damtopp vil disse finkornige massene kunne være frie i kornskjelletet og kunne bli vasket vekk fra vannveien. Lab.forsøk bør derfor gjennomføres uten at steinmaterialets minste korn (~10 %) er tatt med.

Ved en variasjon i permeabilitet i en sone kan en benytte gjennomsnittsbetraktninger.

■ Filteregenskaper

Dersom materialene har dårlige innbyrdes filteregenskaper kan dette føre til en partikkeltransport fra en sone og ut i underliggende sone i et omfang som har betydning for analyseresultatet. En kan regne at avgjørende skadelig partikkeltransport kun vil skje der-som filteregenskapene er spesielt dårlig.

En oversikt over dette vil en kunne få ved å gjennomføre sjaktinger eller prøveboringer. Teoretiske betraktninger vil kunne gi et bilde av et mulig erosjonsomfang dersom filterkriteriene ikke er oppfylt. Ved spesielt dårlige materialer kan forsøk gjennomføres for å fastslå omfang av evt. erosjon.

3.9 Aldring av betongdammer

3.9.1. Generelt

Begrepet aldring av dammer gir uttrykk for at dammer gjennomgår endring gjennom årene.

Nedbryting

Damkonstruksjonen og fundamentet utsettes for nedbrytende krefter, som også kan føre til endrede belastninger. Nedbrytingsprosessene skjer langsomt eller hurtig, alt etter betongens og fundamentets egenskaper og de påkjenninger disse utsettes for.

Basissikkerhet og virkning av nedbryting

Aldring alene gir ingen indikasjon på en dams tilstand og sikkerhet. Dette kan først tas stilling til ved klarlegging av:

- Dammens tilstand og sikkerhet da den ble tatt i bruk.
- Hvilke nedbrytingsprosesser dammen er utsatt for.
- Hvor raskt prosessene går og hvor langt de er kommet.
- Hvilken virkning nedbrytningen har på dammens funksjonsdyktighet og sikkerhet.

3.9.2. Betongdammer

I delrapport 1 "Aldring og sikkerhet av betongdammer" er problemstillinger ved aldring belyst for betongdammer.

Oppsprekking

Den viktigste nedbrytningsmekanisme ved betongdammer er tiltakende oppsprekking, ofte i kombinasjon med lekkasjer.

Man kan til en viss grad skjelne mellom ufarlige og farlige sprekker. Ufarlige sprekker er sprekker som ikke utvikles videre og hvor eventuell vanngjennomgang ikke øker med årene.

Farlige sprekker er vannfylte sprekker med frostspregning. Oppsprekkingen vil da fortsette, ofte med aksellerende tempo, til omfattende skader både på

betong og eventuell armering. Også der det ikke er fare for frostsprengning kan sprekker være farlige som angrepspunkt for korrosjon av armering.

Omfanget av aldringsprossene vil i stor grad avhenge av damutforming, materialsammensetning og kvalitet på det utførte arbeid.

Det generelle bildet for betongdammer i Norge er følgende:

Dammer bygget før 1930

Mange av våre eldste betongdammer bygget før 1930 ble bygget med dårlig (porøs) betong og med utette støpeskjøter. Dammene hadde tildels store skader med frost, forvitring og oppsprekking. Flere av dammene var så dårlige at de på grunn av rask nedbryting ville få betydelig redusert sikkerhet i løpet av noen 10-år. Disse dammene er allerede erstattet av nye dammer eller er utbedret med f.eks. frontal tetningsplate.

Dammer bygget etter 1930

Noen få dammer før 1930 og de fleste dammene etter 1930 er bygget med så god betong at aldring gjennom nedbrytende prosesser går så langsomt at noen betydelig reduksjon av sikkerhet tidligst skjer etter at dammene har oppnådd en alder av 200 år eller mer. Noen få dammer (både eldre og nyere dammer) er i en mellomstilling hvor nedbrytende prosesser kan tenkes å medføre betydelig reduksjon av sikkerhet allerede etter 100 år. Dette omfatter f.eks. gravitasjonsdammer av noe bedre kvalitet enn de dårligste dammene, og muligens noen platedamper med dårlig betong i pilarene.

Alkalireaksjoner

Dammer utsatt for alkalireaksjon må vurderes spesielt. Det synes som om alkalireaksjonene først viser seg etter 20–30 år. Oppsprekkingen under primærreaksjonen vil ikke i seg selv ha særlig betydning for sikkerhet med mindre innholdet av reaktive materialer er så stort at reaksjonen kan pågå i mange 10-år. Det gjenstår å se om dette vil være tilfelle ved våre betongdammer. Antageligvis vil den største truselen komme gjennom sekundærskader med frostsprengning i sprekker og armeringskorrosjon. Det vil imidlertid gå flere 10-år før slike sekundærskader gir betydelig reduksjon av sikkerhet.

Alkalireaksjoner fører også til indre spenninger

Dammer som i konstruksjon og utførelse er bygget med en sikkerhet som tilfredstiller dagens krav, tåler meget omfattende skader før de sikkerhetsmessige konsekvenser blir så store at det er noen fare for dambrudd. Etter vanlig praksis i Norge vil skadene være utbedret lenge før det er noen fare for dambrudd. For disse dammene vil derfor ikke aldring medføre noen fare for dambrudd i løpet av de neste 100 år eller mer.

■ Oppdaging av farlige aldringsprosesser

Det er av grunnleggende betydning for å kunne sette inn tiltak mot farlige aldringsprosesser at dameier oppdager den farlige utvikling.

Visuelle inspeksjoner

Dette må skje gjennom det tilsynsprogram som dameier legger opp til. I mange tilfelle består dette tilsynsprogram kun av visuelle inspeksjoner. Først når en visuell inspeksjon gir mistanke om at farlige nedbrytende prosesser er igang setter en inn nærmere undersøkelser.

Systematiske undersøkelser

Vi anser at en større grad av systematiske undersøkelser av tilstanden for betongdammer bør innføres. En må heller ikke glemme de deler av konstruksjonen som i årevis ligger under vann. Undervannsinspeksjoner med dykker eller video må være elementer i et samlet tilsynsprogram.

Undervannsundersøkelser

Nærmere undersøkelser kan bestå i:

- Undersøkelse av betongfasthet i overflaten med bruk av prellhammer. Resultatene er imidlertid lite pålitelige og gir kun en indikasjon på fasthetsnivået.
- Kjerneboringer for registrering av eventuelle hulrom eller forskjeller i betongkvalitetet.
- Utboring av betongkjerner for kontroll av:
 - trykkfasthet.
 - betongsammensetning.
 - karbonatiseringsdybde.
 - alkalireaksjoner.

Kontinuerlig prosjekt

- oppsprekking.
- Utboring av betongkjerner med armering for undersøkelse av armeringskorrosjon.
- Undersøkelse av karbonatiseringsdybde ved meisling og bruk av indikatorvæske (fenoftalein).
- Undersøkelse av betongoverdekning med "covermeter" eller tilsvarende instrument.
- Potensialmålinger for å undersøke om korrosjon av armering pågår eller ikke.

Alle betongdammer med spesielt store bruddkonsekvenser bør ha slike nærmere undersøkelser med i et samlet program for å ivareta damsikkerheten. Undersøkelsene må være systematiske slik at en får oversikt over endringer over lang tid. Tidsintervallet mellom undersøkelsene kan være langt (20 år), og med tettere undersøkelser av evt. spesielle forhold, som f.eks. alkali.

For å få en noenlunde samlet oversikt over utviklingen ved norske betongdammer bør dameierne som gruppe, gjennom f.eks. Vassdragsregulantenenes forening, i samarbeid med NVE-T følge utviklingen for et utvalg av dammer gjennom et systematisk, varig undersøkelsesprogram.

Et slikt program kan bygge på tidligere prosjekter som f.eks. "Status for dammer", slik at også utviklingen frem til idag blir innbefattet.

Vurdering av dammers sikkerhet må baseres på en gjennomgang av konstruksjonens styrke og stabilitet sammenholdt med en tilstandsvurdering. Foruten representanter fra dameierne og NVE-T bør derfor eksperter innen betongteknologi og norske betongdamkonstruksjoner delta i et slikt prosjekt. Utvalget av dammer bør gjøres slikt at det representerer den variasjon vi i Norge har av betongdammer.

■ Sikkerhetsvurdering

Som et ledd i dameierens totale sikkerhetsprogram i driftsfasen foreslår vi at rutinemessige sikkerhetsvurderinger foretas med visse tidsintervall og når større endringer skjer med hensyn til normer for sikkerhet. Dette er omtalt i kap. 2.7. Sikkerhetsvurderinger.

Dagens praksis med hyppige visuelle inspeksjoner evt. supplert med nærmere undersøkelser av dammens tilstand har som formål å avdekke dammens tilstand og endringer i denne.

Dette opplegget alene er imidlertid ikke tilstrekkelig for å avdekke de dammer som gjennom konstruksjon og utførelse ikke tilfredstiller dagens krav. I den utstrekning en ønsker å klarlegge slike forhold, må inspeksjon og vurdering av dammens tilstand følges opp med vurdering av konstruksjon og utførelse i forhold til damforskriftens krav. Det er nærliggende å tenke seg en form for klassifisering ut fra i hvilken grad dammen oppfyller damforskriftens krav, evt. også ut fra konsekvensene ved et dambrudd.

En slik form for klassifisering kan gi grunnlag for et mer hensiktsmessig inspeksjonsopplegg. For dammer som tilfredstiller kravene ville det være tilstrekkelig med inspeksjoner f.eks. hvert 10. år, eller etter unormale hendelser. Dammer som ikke tilfredstiller kravene settes under strengere tilsyn med hyppige inspeksjoner inntil kravene er oppfylt. I tillegg til disse inspeksjonene forutsettes at dameierne sørger for vanlig driftstilsyn med registrering av eventuelle skader.

Kvalitetsklassifisering

■ Aldringsprosesser ved ulike konstruksjonselementer

Ved en damkonstruksjon kan aldringsprosessen skje ved ulike konstruksjonselementer. Hovedtypen av aldringsprosess er den som nedbryter selve dammaterialene (betong og armering). Det er i første rekke denne type av aldringsprosess som delrapport 1 omhandler.

Det er imidlertid viktig å være oppmerksom også på aldringsprosessene som skjer på andre konstruksjonselementer. Ved vurdering av slike er det spesi-

elt viktig at personell som kjenner de ulike konstruksjonselementene og deres betydning for dammens sikkerhet deltar.

Konstruksjonselementer hvor aldriingsprosesser skjer kan være:

- dammens forankring til fundament gjennom vanlige fjellbolter eller oppspenningskabler.
- dammens indre drenasjesystem.
- damfundamentets tetthet (injeksjonskjerm) og drenasje.
- glidningsegenskapene ved sprekker i damfundament.
- erosjon av fjell og betong ved nedstrøms damtå, og i fundamentområde nedstrøms for dammen.

■ Andre damtyper

Andre damtyper vil også gjennomgå aldriingsprosesser.

- Trebukkdammer
 - Andel av friskt treverk med full bærekraft reduseres pga. ulike prosesser som angriper treet.
- Fyllingsdammer
 - topp av tetning og damkrone synker.
 - Stein i oppstrøms skråning blir mindre.
 - Tetting og drenasje i damfundament endres.
 - Røtter fra vegetasjon etableres.
 - Slitasje på nedstrøms skråning av mennesker, dyr og vann.
- Murdammer
 - Tetthet og drenasje av fuger.
 - Forrigling av blokker ved jernklammer.
 - Oppsprekking og utfall kan ødelegge "låsing" av blokker.

3.10 Ras i magasin

3.10.1 Bakgrunn

Skred-/rasmulighetene i et magasinområde eller nedslagsfelt påvirker damsikkerheten ved muligheten for at skredbølger i magasin ødelegger dammer eller ved at flomløp settes ut av funksjon av rasmasser eller drivgods som er ført ut i vassdraget av ras.

Opplevde rastilfelle

Eksempler på ras med store rasbølger har vi i Loen og Tafjord. Hadde disse rasene gått ned i oppdemmede magasin kunne man fått dambrudd med ytterligere tap av liv og eiendom.

Meget kjent er utrasningene av en hel fjellside i magasinet for Vajont-dammen i Italia. Dammen tålte en ca. 80 m høy bølge over toppen, men ca. 2600 mennesker omkom likevel nedstrøms.

Tilstopping av flomløp ved drivgods er ikke uvanlig i flomsituasjoner. Særlig i situasjoner der det går løsmasseras i bratte lier kan store mengder trær med røtter og greiner havne i vassdraget. Denne type problemer er behandlet i kapittel 3.4, vedlegg 2 og i delrapport nr. 4.

3.10.2 Ulike typer skred/ras

Skred/ras som kan skape bølger i magasin kan være av følgende type:

- normalt løsmasse-skred
- utrasing av urmasser
- fjellskred
- steinsprang
- snøskred
- isfall fra breutløp
- undervannsraser

Det er magasinområdet som utgjør den potensielle faresone.

3.10.3 Damforskriftenes bestemmelser vedrørende skred/ras

■ Dokumentasjon og informasjon om planene

Det skal redegjøres for de geotekniske forhold i og rundt magasinet med tanke på mulige ras eller erosjon, og for planlagte tiltak for å forhindre skader.

■ Ulykkeslaster

Under prosjektering skal det redegjøres for hvilke ulykkeslaster som vil kunne opptre, og karakteristiske verdier skal vurderes ut fra stedlige forhold.

NVE skal på dette grunnlag fastlegge de ulykkeslaster det skal tas hensyn til ved prosjekteringen.

Blant mulige ulykkeslaster nevnes:

- vannstandsstigning over dimensjonerende flomvannstand forårsaket av blokkering av flomløpet.
- bølger forårsaket av ras ned i magasinet.
- ras mot dammen.

Skred-/rasfare er ikke systematisk vurdert

3.10.4 Praksis vedrørende vurdering og dokumentasjon av skred/ras i relasjon til damsikkerhet

■ Bølgeskapende skred/ras

Utredninger vedrørende bølgeskapende skred/ras har i en viss tid vært vanlig å utføre i forbindelse med konsesjonsbehandlingen. Det har imidlertid ikke vært vanlig praksis at disse utredningene har vært vurdert av Vassdragstilsynet i en damsikkerhetssammenheng.

I enkelte tilfeller med klare faresignaler vedrørende muligheten for bølgeskapende skred/ras har forholdene blitt nærmere vurdert etter anmodning fra Vassdragstilsynet. Det synes imidlertid ikke som forholdene regelmessig er vurdert.

3.10.5 Analyse vedrørende bølgeskapende skred/ras

■ Hovedelementer

Vurderinger vedrørende bølgeskapende ras vil være knyttet til ulykkeslastvurderingene for en damkonstruksjon.

Hovedelementene vil være følgende:

- Skred-/rasvurderinger

Dette bør inneholde vurderinger av følgende type:

- mulighet (sannsynlighet) for bølgeskapende ras.
- type av skred/ras.
- størrelse, hastighet av skred/ras.
- lokalisering av skred-/rasmuligheter.

- Bølgevurderinger

Et eventuelt skred/ras vil danne en bølge som i første rekke vil avhenge av skredets størrelse og art og av magasinets topografi ved rasstedet. Bølgens utvikling frem mot dammen vil avhenge av utgangsbølgens art og magasinets topografi.

- Damvurdering

Vurdering av hvilke bølgestørrelser dammen tåler uten at den går til brudd.

■ Skred-/rasvurderinger

Vurderinger vedrørende mulighet for bølgeskapende skred/ras bør skilles i flere typer.

- Vurdering kun basert på topografi
- Vurdering av ekspert basert på geologi, vind-/snøforhold etc.

Vurderinger bør gjennomføres for ulike skred-/rastyper. Område som kan gi ras ned i damområde/flomløp må vurderes spesielt.

■ Fjellskred

Topografisk sett er fjellskred mulig ved fjellområder brattere enn 30° . Sannsynligheten må anses større dess brattere fjellsiden er.

For at et eventuelt skred skal nå frem til magasinet må siktelinjen fra vannkant og til skredtopp ha helling større enn 25° .

■ Snøskred

Bølgedannende snøskred kan skje ved skråninger som har helningsvinkler mellom 30° og 45° og med areal større enn 10^5 m^2 . Siktelinjen fra strandkant til rasområdets øvre begrensning må i tillegg ha større helling enn 25° .

■ Løsmasseskred

Utglidninger av mellomjordarter (moreneavsetninger) eller urmasser kan skje der terrenghelningen er større enn 30° . En eventuell utglidning vil normalt ha sammenheng med store nedbørmengder.

Store kvikkleireskred kan forårsake bølger i innsjøer (f.eks. Rissaskredet). Muligheten for kvikkleireskred må i første omgang bedømmes med en konstaterting om kvikkleire kan forekomme langs magasinet.

■ Topografivurdering 1

Ugunstigste snitt langs magasin tegnes opp på grunnlag av kart og største utglidningsvinkel ($\varnothing 1$) og største siktelinjehelling ($\varnothing 2$) angis.

For magasin hvor $\varnothing 2 > 25^\circ$ og $\varnothing 1 > 30^\circ$ kan fjellskred skje, og en videre vurdering foretas.

Muligheten for snøras klarlegges ved arealberegning av rasutsatt flate.

■ Topografivurdering 2

De enkelte fjellområder med $\varnothing 2 > 25^\circ$ og $\varnothing 1 > 30^\circ$ avmerkes på et kart. Det foretas en volumberegning av potensielt rasvolum for hvert område og for magasinet samlet. Volumberegningen foretas for områder med $\varnothing 2 > 25^\circ$ og $\varnothing 1 = 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ etc.

■ Geologibaserte vurderinger

- Geologisk vurdering basert på kart og flyfotos.

Hensikten er å klarlegge sprekke mønstre og mulige geologiske betingede utglidningslegemer i dalsidene i den hensikt å velge ut magasin og områder for nærmere befarings.

- Geologisk sluttvurdering basert på kart, flyfotos og befarings.

Hensikten er å angi mulighet og sannsynlighet av ulike rasstørrelser i magasinet.

■ Konklusjoner

Dameier må gi sin vurdering av rasfaren, og NVE-T må (eventuelt i samråd med dameiers eksperter) konkludere med om det skal stilles krav om at dammen skal tåle ras i magasinet. Ras i magasinet må betraktes som en ulykkeslast, og det bør i første rekke være dammer med store bruddkonsekvenser som bør tåle slike store laster.

■ Forslag til vurderinger for eksisterende dammer

- For alle dammer med høyde $H > 15 \text{ m}$ bør NVE be dameierne om å få en klarlegging av rasmuligheten ut i magasinet. Denne klarlegging bør bestå i topografivurdering 1 og eventuelt topografivurdering 2 samt en oversikt over eventuelt tidligere utførte vurderinger vedrørende rasfaren ut i magasinet.

- Med dette som basis og sammen med en flyfotovurdering plukkes ut et antall potensielt rasfarlige magasin for nærmere vurdering (ca 10 stk).
I tillegg tas med et utvalg av dammer med store bruddkonsekvenser (ca 5 stk).
- For ca. 5 av de 15 dammene utføres også analyser av bølgehøyder og dammenes motstandsevne.
- NVE vurderer videre saksgang for landets dammer med målsetning at en tilfredsstillende dokumentasjon på bølgedannende rasmuligheter skal finnes for alle landets dammer.

FORSLAG TIL ENDRINGER I DAMFORSKRIFTENE

1 Regelmessig revurdering av damforskrifter

En systematisk og regelmessig revurdering av damforskriftene bør finne sted med tidsintervall 15–20 år. Initiativ til arbeidet bør komme fra NVE-T. Arbeidet bør skje i et samarbeid med dameierne og bransjen forøvrig. Arbeidet må underlegges en streng kvalitetskontroll.

2 Bestemmelser om eksisterende dammer

De fleste norske damanlegg er bygget før damforskriftene trådte i kraft, og formelt sett gjelder damforskriftene kun for nye anlegg, ombygginger og større utbedringer. Damforskriftene fastlegger et forskriftsbestemt sikkerhetsnivå for nye dammer.

NVE-T fastlegger sikkerhetsnivået for eldre dammer gjennom pålegg som gis ved den løpende kontroll av enkeltdammer.

Indirekte kan damforskriftene gjøres gjeldende også for eksisterende dammer ved at NVE-T velger å legge sikkerhetsnivået for disse dammer opp etter damforskriftene.

Et klarere formelt ansvar hos dameierne for å klargjøre sikkerhetsnivået for eksisterende dammer kunne en få dersom en innførte bestemmelser for slike dammer i forskriftene eller "regler og anbefalinger".

Disse burde kunne omfatte bestemmelser om fremskaffelse av dokumentasjon og klargjøring av sikkerhetsnivå for den enkelte dam i forhold til forskriftenes bestemmelser.

Slike bestemmelser om å klargjøre sikkerhetsnivåer for eksisterende dammer (sikkerhetsvurderinger) hører hjemme under damforskriftenes kap. 5.3.

I Finland har en ved sine forskrifter klargjort hvilke punkter (som omhandler krav til dokumentasjon) som også gjelder for eldre dammer, og en har klargjort innen hvilke tidsrammer dokumentasjonen skal foreligge.

I Norge er de forskriftsbestemte oppgaver for eldre dammer i liten grad definert.

3 Konsekvensvurdering ved dambrudd

Damforskriftenes pkt. 3.3.4.4 kan oppfattes som et krav til å gjennomføre konsekvensvurderinger ved dambrudd.

Dagens praksis er at dette ikke gjennomføres av dameier.

Klare krav om gjennomføring av slike analyser bør innføres og bestemmelsen bør gjelde uansett når dammen er bygget. Både dameiers og NVE-T's oppgaver må klart defineres.

4 Første gangs magasinoppfylling

Dette er en kritisk fase rent teknisk for dammens sikkerhet.

Første gangs magasinoppfylling kan også ofte skje i en periode hvor ansvaret går over fra en byggeorganisasjon og til en driftsorganisasjon.

Damforskriftenes pkt. 5.1 krever at oppfyllingen skal skje etter et godkjent program.

Det bør vurderes å ta med utfyllende bestemmelser om hva dette programmet skal inneholde i "regler og anbefalinger".

Det er viktig at dette ikke bare er et program som regulerer vannstandsstigning i magasinet, men som også omhandler dameierens tilsyn, overvåking og beredskap i denne fasen.

5 Bestemmelser om program for driftsfasen

Det bør vurderes å gi disse bestemmelsene et mer konkret innhold i "regler og anbefalinger".

Alternativt bør det overveies å ta bestemmelser om driftsfasen ut av de nåværende damforskrifter, og opprette en separat "driftsforskrift for dammer". Den nåværende forskrift blir dermed en ren "planlegging og byggeforskrift for dammer". Bestemmelsene bør gjelde også for eksisterende dammer.

Det vises til rapportens kpt. 2.

6 Bestemmelser om flomberegninger og dimensjonering av flomløp (damforskriftenes kap. 7 og 8)

Bestemmelsene på dette felt er av den største betydning for damsikkerheten, og disse to kapitlene i damforskriftene må vurderes i sammenheng.

Følgende problemstillinger er aktuelle å vurdere:

- **Utgjør PMF et rimelig sikkerhetsnivå?**

Er det rimelig å stille PMF-kravet generelt for alle dammer uansett bruddkonsekvens? Dagens praksis viser tilbakeholdenhet vedr. det å stille krav knyttet til PMF for dammer med små bruddkonsekvenser.

Dersom PMF-kravet "mykes opp" må alternative krav vurderes (f.eks. $1,5 \times Q_{1000}$).

PMF kravet bør ikke gjelde for dammer med små dambruddkonsekvenser.

- **PMF og elvekraftverksdammer**

For våre typiske elvekraftverksdammer bør PMF-kravet ikke gjelde. I normale tilfelle vil skadene ved store flommer forøkes dersom en dam går til brudd. Ved elvekraftverksdammer kan det tvert i mot være gunstig. Disse vurderingene må samordnes over visse strekninger i vassdraget. Det bør komme krav om at det utredes ved hvilke flomstørrelser slike dammer går til brudd.

- **Bruddebetraktning kan erstatte PMF-beregning**

PMF-beregning gjennomføres for å påvise at dammen kan avlede slik flom uten å gå til brudd. Erfaring viser at PMF beregnet etter dagens retningslinjer utgjør ca $2-3 Q_{1000}$. PMF-beregning kan være omfattende. En forenklet metode for dameier kan være å påvise at dammen tåler $3 \times Q_{1000}$ uten å gå til brudd. For mange damtyper kan dette være en enkel dokumentasjon.

- **Overløp med sjakt/tunnel-avløp**

Denne type overløpskonstruksjon finnes ved et mindre antall dammer (ca 50), men konstruksjonstypen kan representere en stor sikkerhetsrisiko ved disse dammene. Kapasitetsberegninger for slike anlegg må legges opp slik at en sikrer at disse konstruksjonstypene ikke representerer noen særskilt ekstra sikkerhetsrisiko i forhold til vanlig fast overløp. Bestemmelsene i "regler og anbefalinger" bør utdypes.

Det vises til rapportens kap. 3.6 og vedlegg 4 og 5.

- **Tilstopping av flomløp**

Det bør i "regler og anbefalinger" komme bestemmelser om at tilstopningsvurderinger bør gjennomføres for nye og gamle anlegg.

- **Manøvrerbare flomløp**

Nåværende hovedbestemmelse i damforskriftenes del I (8.2.3) bør klargjøres gjennom utfyllende bestemmelser i "regler og anbefalinger" slik at bestemmelsen får større gjennomslagskraft både som prinsipp ved nyanlegg og som norm ved vurdering av gamle anlegg. Bruk av manøvrerbare flomløp utgjør en ekstra risiko i forhold til faste overløp. Manøvrerbare flomløp bør ikke benyttes ved dammer med store bruddkonsekvenser.

Ved anlegg som har manøvrerbare flomløp bør det gjennomføres funksjonssikkerhetsanalyse. Ved sikkerhetsvurdering av eksisterende dammer med store bruddkonsekvenser bør det settes som krav at PMF skal avledes uten brudd med den største luken stengt.

For typisk elvekraftverksdammer med luker som flomorgan vil det i mange tilfelle ikke stilles krav om at dammen skal tåle PMF. I slike tilfelle bør det overveies å stille opp alternative normer av følgende type:

- Avledningskapasitet ved dim. flomvannstand med en luke stengt:
 $K_1 \cdot Q_{1000}$ (k_1 f.eks. lik 1).
- Avledningskapasitet ved bruddvannstand med en luke stengt:
 $K_2 \cdot Q_{1000}$ (k_2 f.eks. lik 1.3).
- Avledningskapasitet ved bruddvannstand med alle luker åpne:
 $K_3 \cdot Q_{1000}$ (k_3 f.eks. like 1,5).

- **Registrering av faktiske tilløpsflommer til magasinet.**

Det bør innføres bestemmelser om at det for dammer der bruddkonsekvensene er store gjennomføres registrering av faktiske tilløpsflommer til magasinet, og revurdering av flomstørrelser med visse tidsintervall.

- **Klimaendringer**

Det er en mulighet for at vi i de kommende femti år vil oppleve klimaendringer som vil påvirke flomstørrelsene i Norge. For enkelte typer felt vil det kunne skje en økning som kan utgjøre hele 30 %. Det er i dag stor usikkerhet om klimaendringens størrelse og virkningen på flomstørrelsene.

I de tilfelle der en skal øke flomavledningskapasitet ved ombygging og magasinet har nedslagsfelt av type som forventes å få flomøkning ved klimaendring bør kapasiteten gis et ekstra tillegg pga. faren for klimaendringer. Bestemmelser om dette bør tas med i forskrifter.

- **Kombinasjon av PMF og bølger**

Dagens regler har bestemmelser om kombinasjon av dim. flomvannstand og bølgeoppløp, men har ingen bestemmelse om PMF i evt. kombinasjon med bølgeoppløp.

Slik bestemmelse bør innføres.

7 Innføring av konsekvensavhengige krav som prinsipp

I prinsippet er damforskriftenes krav uavhengig av dambruddkonsekvensene for den enkelte dam.

Dette kan synes ulogisk ut fra en risikotankegang.

Innføring av konsekvensavhengige krav som prinsipp synes mest aktuelt for PMF og andre ulykkeslaster. Likeledes bør kravene til dameierens organisasjon og kompetanse, og driftsopplegg være konsekvensavhengig.

Det vises til kapittel 1.8.

8 Innføring av krav om bruddsannsynlighetsberegninger

Risikoanalyse eller bruddsannsynlighetsanalyse er ikke omtalt i damforskriftene.

Krav om slike analyser bør vurderes innført for enkelte grupper av dammer og for enkelte bruddårsaker.

- Dammer med stor bruddkonsekvens.
- Dammer med forventet høy bruddsannsynlighet (tåler ikke PMF).
- Bruddårsak overtopping, bølge, lekkasje.

Retningslinjer for slike analyser bør i så fall utarbeides.

Det vises til kapittel 1.6.

9 Innføring av krav om kvantifisering av dammers bruddkapasiteter

Gjennom forskrifter bør det kreves at dammers sikkerhet også blir dokumentert gjennom bruddkapasitetsvurderinger.

Det vises til kapittel 1.7.

TILSTOPPING AV FAST OVERLØP

1 Fastleggelse av karakterisk drivgods

Som grunnlag for en tilstopplingsvurdering må det fastlegges en karakteristisk last. Det bør fastlegges en mindre laststørrelse for dim. tilstand (ca 10 trær) og en større for ulykkeslastbetraktning.

Drivgodset vil normalt komme som følge av utrasinger ved store nedbørsmengder og ekstrem høy vannstand i vassdraget, og det vil følge vassdraget ned til magasinet.

Farlig drivgods kan være:

- trær, enkeltvis eller i vaser
- flytetorv
- hus, uthus, båtnaust, campingvogner
- båter

Den karakteristiske last må fastlegges på basis av:

- Skogsbestanden i de raspotensielle områdene i nedslagsfeltet.
- Omfanget av raspotensielle områder
 - fjellgrunn/løsmasse
 - bratte lier/flatt terreng
 - størrelse på nedslagsfelt, lengde på elver
- Erfaringer om ras i nedslagsfeltet
- Dambruddkonsekvens

■ Karakteristisk last for tilstrømming av trær beskrives ved:

- Max trelengde ved overløp. Denne kan settes lik 0,8 x typisk max trelengde i terrenget.
- Antall trær

Ingen rasmulighet:	0 trær
Lite ras:	10 trær
Middels ras:	100 trær
Stort ras:	500 trær
- Fordeling av trelengde

Det kan antas en jevn fordeling mellom max trelengde og 60 % av max trelengde.

2 Flomløpets evne til å avlede drivgods

Denne vurdering bør ende i en konklusjon om sannsynlig grad av tilstopping ved den fastlagte ulykkeslast.

Til hjelp ved vurderingen vises til delrapport 4. "Tilstopping av flomløp".

■ Fast overløp uten bro

Midlertidig tilstopping vil kunne skje ved lave overløpshøyder, men en kan regne at tilstoppingen løses opp og drivgodset transporteres over overløpsterskelen ved en viss overløpshøyde.

En kan regne som sikkert at tilstopping ikke løser seg ved overløpshøyder mindre enn:

0,1 x maks trelengde i terreng

tilsvarende

0,7 x rottdiameter

En kan regne at tilstopping løser seg ved overløpshøyder større enn:

0,2 x maks trelengde i terreng

tilsvarende

1,0 x rottdiameter

■ Fast overløp med bro

Tilstoppingsvurderingen bør basere seg på at drivgodset kan komme ved lavere overløpshøyder og legge seg på tvers foran overløpet. Ved normale pilaravstander vil det være små muligheter for at dette løser seg opp.

Den mest avgjørende parameteren vil være pilaravstanden. En kan regne som sikkert at tilstoppingen ikke løser seg dersom pilaravstanden er mindre enn:

0,5 x maks trelengde i terreng

tilsvarende

0,6 x maks trelengde som drivgods

En kan regne som sikkert at tilstoppingen løser seg dersom pilaravstanden er større enn:

1,0 x maks trelengde i terreng

tilsvarende

1,2 x maks trelengde i drivgods

Til denne vurderingen er knyttet stor usikkerhet.

Den andre avgjørende parameteren vil være den fri høyde mellom overløpsterskelen og brobanen.

En kan regne som sikkert at tilstoppingen ikke løser seg dersom frihøyden er mindre enn:

0,1 x maks trelengde i terreng

tilsvarende

0,7 x maks rottdiameter

En kan regne at tilstoppingen løser seg dersom frihøyden er større enn:

0,2 x maks trelengde i terreng

tilsvarende

1,0 x rottdiameter

Selv om pilaravstand og frihøyde er så store at en tilstopping kan løse seg vil dette først skje ved en viss overløpshøyde. En kan regne som sikkert at tilstopping ikke løser seg ved overløpshøyder mindre enn:

0,1 x maks trelengde i terreng

tilsvarende

0,7 rottdiameter

En kan regne at tilstopping løser seg ved overløpshøyder større enn:

0,2 x maks trelengde i terreng

tilsvarende

1,0 x maks rottdiameter

■ Bestemmelse av tilstopningsgrad

Graden av tilstopping vil (dersom forholdene ligger til rette for tilstopping) avhenge av drivgodsmengden i forhold til samlet overløpslengde.

Antall tre som drivgods: n

Maks trelengde i terreng: H

Samlet overløpslengde: L

Tilstopningsgrad i %: T

Ved en vurdering om tilstopningsgrad kan det forutsettes følgende:

$n \cdot H/L$	T_2
0,1	5 %
0,5	20 %
1	30 %
3	60 %
10	100 %

Samlet tilstopningsgrad settes lik:

$$T = T_2 \times T_3$$

$$T_3 = 1 \quad \text{ved de tilfelle hvor tilstopping sikkert skjer.}$$

$$T_3 = 0 \quad \text{ved de tilfelle hvor tilstopping sikkert ikke skjer.}$$

Ved mellomliggende tilfelle interpoleres rettlinjet.

3 Nærmere vurderinger, modellforsøk

Ved nærmere vurderinger vedrørende tilstopping bør det differensieres mellom ulike tilstopningsmåter. De ulike tilstopningsmåtene vil kunne ha ulik effekt vedrørende:

- evne til å stoppe nye trær
- evne til å hindre vannoverløp
- evne til å løsne ved slag fra nye trær
- evne til å løsne ved høyere vannstand

Det kan skilles mellom følgende tilstopningsmåter avhengig av hvilken konstruksjonsdel treet stopper mot:

1. Tilstopping på tvers av strømretning.

- 1.1 overløpskrone
- 1.2 overløpskrone/pilar
- 1.3 overløpskrone/bro
- 1.4 bro/overløpskrone/pilar
- 1.5 pilar/pilar

2. Tilstopping i strømretning

- 2.1 overløpskrone
- 2.2 overløpskrone/nedstrøms terreng
- 2.3 overløpskrone/bro/nedstrøms terreng
- 2.4 overløpskrone/bro

Tilstoppingsmåte 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, og 2.2 vil lett kunne skje ved små overløpshøyder uansett utforming på overløp. En må imidlertid kunne forvente at tilstoppingen forholdsvis ofte løsner ved høyere vannstand.

Den alvorligste tilstoppingsformen vil være 1.5 da trærne ved denne tilstoppingsform blokkerer effektivt og har små muligheter til å løsne.

De utførte forsøkene forteller forholdsvis lite om disse forhold. Noe kan imidlertid trekkes ut av resultatene:

- Ved forsøk uten bro/pilar var tilstoppingsmåte 2.1 og 2.2 den klart vanligste. Trærne hang lett fast og løsnet ofte ved sammenstøt (ikke tallfestet ved forsøk). Forsøkene er gjort med overløpshøyde/trelengde = $H_o/H_{tre} = 0,10-0,17$. Ved lavere overløpshøyde må en forvente at tilstoppingsmåte 1.1 blir mer vanlig.
- Ved forsøk med bro/pilar har en registrert tilstoppingsmåte 1.5 særskilt. Fra resultatene kan en se at den alvorlige tilstoppingsmåten 1.5 utgjør bare en mindre andel.

Tilstoppingsmåte 1.5 må en regne med er en tilstopping som ikke løsner.

I hvilken grad trærne ved de andre tilstoppingsmåtene løsner er ikke klarlagt gjennom forsøkene. De andre tilstoppingsmåtene er i hovedsak 2.3 og 2.4.

FUNKSJONSSIKKERHETS- ANALYSER AV MANØVRER- BARE FLOMLØP

Eksempler på konklusjon

Anlegg A Braskereidfoss

1 Sikkerhetsnivå.

- Magasinet er lite i forhold til tilløpsflommene. Ved flom må avledningskapasiteten økes i takt med tilløpet. Ved totalsvikt i lukemanøvrering vil dambrudd kunne skje i løpet av 16 timer ved flom.
- Dambruddskonsekvensene vil være moderate. Det bør ikke stilles krav om at PMF skal avledes uten at dammen går til brudd.
- Avledningskapasiteten ved åpne flomløp vil ikke være tilstrekkelig til å avlede PMF uten at dammen går til brudd.

PMF-situasjonen vil være følgende:

Maksimal tilløpsflom:	13.200 m³/s
Nødvendig avløpskapasitet:	13.200 m³/s
Eksisterende avløpskapasitet:	4.680 m³/s
Eksisterende avløpskapasitet flomluker:	4.510 m³/s

- Brudd vil inntreffe ved følgende hovedkombinasjoner av flomstørrelser og flommanøvrering:

Tilløpsflom Q > 4.680 m³/s	p₁ = 2.10⁻⁴	
Alle luker åpne	p₂ = 1	p = 2.10⁻⁴
Tilløpsflom Q > 3.670 m³/s	p₁ = 1.10⁻³	
En segmentluke feiler	p₂ = 10⁻²	p = 10⁻⁵
Tilløpsflom Q > 910 m³/s	p₁ = 10	
Ingen luker åpner	p₂ = 10⁻⁵	p=10⁻⁴

De angitte sannsynligheter for manøvreringstilfellene (p₂) er anslått og angitt pr. flomtilfelle. For flomstørrelsene er angitt gjennomsnittlig årlig frekvens (p₁).

Samlet bruddsannsynlighet p.g.a. flom anslås lik 3.10⁻⁴ pr. år. Denne bruddsannsynligheten er høy, men akseptabel.

Det viktigste bidrag til bruddsannsynligheten kommer fra situasjonen med alle luker åpne.

2 Forslag til tiltak

- Ombygging

Det ansees ikke nødvendig å bygge om dammen p.g.a. flomavledningsikkerheten.

- Funksjonsikkerheten bedres ved følgende tiltak:
 - Feste på luker til bruk for mobilkran monteres.
 - Mekanisk forrigling som holder luka oppe i åpen stilling monteres.
 - Stikkontakttilkobling for mobilt nødstrømaggregat monteres.
 - Reservekabel mellom kraftstasjon og luker anskaffes.
 - Øvelser i nødopptrekk av luker avholdes.
 - Funksjonssikkerhetsrapporten gjennomgås nærmere med sikte på å vurdere evt. andre tiltak.
 - Spesielle erfaringer med lukemanøvrering medtas i årlig rapport.
- Andre tiltak

Det vurderes nærmere om en reduserer de totale skadevirkningene av et evt. dambrudd ved å åpne fyllingsdamseksjonen før det naturlige bruddet skjer. Det vurderes også om det er ønskelig å forhøye fyllingsdammene med tiltak i en krisesituasjon, og hvordan det i så fall bør gjennomføres.

Anlegg B Olstappen

1 Sikkerhetsnivå

- Magasinet er lite i forhold til tilløpsflommene. Flomstigning vil kunne skje raskt og en har liten tid til rådighet ved manøvrering.
- Dambruddkonsekvensene vil kunne bli store og en bør ha stor funksjonsikkerhet for flomavledning, og stille maksimale krav til total avledningskapasitet (PMF).
- Avledningskapasiteter ved åpne flomløp vil ikke være tilstrekkelig til å avlede PMF uten at dammen går til brudd.

PMF-situasjonen vil være følgende:

Maksimal tilløpsflom:	1388 m³/s
Nødvendig avløpskapasitet:	1380 m³/s
Eksisterende avløpskapasitet:	834 m³/s

- Brudd vil kunne inntreffe ved følgende kombinasjoner av flomstørrelser og flommanøvrering.

Tilløpsflom Q > 840 m³/s	p₁ = 5.10⁻⁴	
Alle flomluker åpne	p₂ = 1	5.10⁻⁴
Tilløpsflom Q > 550 m³/s	p₁ = 10⁻²	
Segmentluke stengt	p₂ = 10⁻²	10⁻⁴
Tilløpsflom Q > 340 m³/s	p₁ = 2.10⁻¹	
Alle luker stengt	p₂ = 10⁻⁴	2.10⁻⁵

De angitte sannsynligheter for manøvreringstilfellene (p_2) er anslått og angitt pr. flomtilfelle. For flomstørrelsene er angitt gjennomsnittlig antall opptreden pr. år. Samlet bruddsannsynlighet settes lik $6 \cdot 10^{-4}$ pr. år. Denne bruddsannsynlighet anses å være uakseptabelt høy.

Den største bruddsannsynlighet ansees å være knyttet til opptreden av flommer som overstiger dammens avledningskapasitet ved åpne flomorgan.

2 Forslag til tiltak

- Dammen bygges om slik at den totale flomavledningsevnen økes slik at PMF kan avledes, d.v.s. at samlet kapasitet settes lik 1400 m³/s. Økningen av

avledningskapasitet skjer ved å etablere faste overløp som er sikre mot tilstopping.

Ved beregning av samlet kapasitet forutsettes en luke stengt (segmentluken).

Fremtidig avledningskapasitet blir dermed:

Fast overløp	1150 m³/s	1400 m³/s
Sektorluke	250 m³/s	
Segmentluke	330 m³/s	

Ombygging av dammen skjer innen 15 år.

(Bakgrunnen for ovenstående konklusjon er at de flomberegningene som vi har basert oss på har gitt til resultat en PMF-flom som langt overstiger hva dammen opprinnelig er dimensjonert for, og at dammen har en beliggenhet som gjør dette uakseptabelt.)

- Funksjonssikkerheten bedres ved følgende tiltak:
 - Sentralen flyttes til PMF-sikkert sted innen 1995.
 - Rekkverk ved flomløpsgangbane fjernes f.o.m. 1992.
 - Funksjonssikkerhetsrapporten gjennomgås nærmere med sikte på evt. gjennomføring av andre tiltak. Gjennomføres i løpet av 1992.
- Andre tiltak
 - Fjernstyring av luker må betraktes som en driftsmåte som ikke kan erstatte bemanning og styring av luker fra dammen under flommer.
 - Det vurderes hvordan en kan bruke magasinene i en flomdempingsstrategi for å minske brudds sannsynligheten. Gjennomføres i løpet av 1993.

Anlegg C

Vinsteren:

1 Sikkerhetsnivå

- Magasinet er meget stort i forhold til tilløpsflommene og vil dempe flommene i stor grad og gi en mye tid ved manøvreringen.
- Vi anser det sannsynlig at et dambrudd p.g.a. funksjonssvikt i flomavledningen *ikke* vil føre til dambrudd ved nedenforliggende dammer. Under denne forutsetning vil dambruddskonsekvensene være forholdsvis moderate, og en behøver ikke å kreve maksimal funksjonssikkerhet for flomavledningen.
- Avledningskapasiteter ved åpne flomløp vil være tilstrekkelige til å avlede PMF uten at dammen går til brudd.

PMF-situasjonen vil være følgende:

Maksimal tilløpsflom:	700 m³/s
Maksimal avløpsflom:	426 m³/s
Maksimal v.st. i magasin:	HRV + 1,7m
Maksimal v.st. ved dam:	HRV + 0,5m

Vannstand ved dam er 0,5m under anslått bruddvannstand.

- Bruddsituasjonen ved åpne flomløp vil være følgende:

Maksimal v.st. ved dam:	HRV + 1,0m
Maksimal v.st. i magasin:	HRV + 2,35m
Maksimal avløpsflom:	550 m³/s
Maksimal tilløpsflom:	800 m³/s

Brudd-tilløpsflom ved åpne flomløp er av størrelse 1,14 x PMF

- Brudd vil kunne inntreffe ved følgende kombinasjoner av flomstørrelser og flomløpmanøvrering:

Tilløpsflom Q > 850 m³/s	p₁ = 10⁻⁹	
Alle flomløp og bunnluker åpne	p₂ = 8.10⁻¹	8.10⁻¹⁰
Tilløpsflom Q > 800 m³/s	p₁ = 10⁻⁸	
Alle flomløp åpne	p₂ = 10⁻¹	10⁻⁹
Tilløpsflom Q > 750 m³/s	p₁ = 4.10⁻⁷	
En flomluke og bunnluker stengt	p₂ = 10⁻³	4.10⁻¹⁰
Tilløpsflom Q > 420 m³/s	p₁ = 1.10⁻⁴	
Nåleløp stengt	p₂ = 10⁻¹	10⁻⁵
Tilløpsflom Q > 200 m³/s	p₁ = 10⁻¹	
Ingen flomløp åpne	p₂ = 10⁻⁴	10⁻⁵
Tilløpsflom Q > 50 m³/s	p₁ = 10	
Ingen flomløp åpne	p₂ = 10⁻⁶	10⁻⁵

De angitte sannsynligheter for manøvreringstilfellene (p_2) er anslått og angitt pr flomtilfelle. Flomstørrelsene er angitt ved gjennomsnittlige antall årlige oppreden. Samlet bruddsannsynlighet pga. flom anslås lik $3 \cdot 10^{-5}$ pr. år. De største sannsynligheter ansees å være knyttet til svikt i bemanningen på dammen og at nåleløpet ikke blir åpnet.

2 Forslag til tiltak

- Ombygging
 - Det ansees ikke nødvendig å bygge om dammen p.g.a. flomavledningssikkerheten.
 - Dersom dammen blir ombygget p.g.a. andre forhold, bør en bedre flomavledningssikkerheten ved å anlegge en stor del av flomløpet som tilstopnings sikkert fast overløp.
- Inntil ombygging skjer bedres funksjonssikkerheten ved følgende tiltak:
 - Opplæring og øvelser i nåleopptrekk gjennomføres årlig f.o.m. 1992.
 - Det legges opp et vannstandsmålesystem slik at v.st. både ved magasin og dam kan måles manuelt og avleses i damvokterbolig ved dammen. Systemet er i drift i løpet av 1993.
 - Instruks for betjening av flomorganene endres slik at en bedre sikrer at nåleløp blir åpnet når dette ansees nødvendig av mannskapet. Instruksen må også angi forsiktighet ved reduksjon i flomavledningen pga. fallet mellom dammen og magasinet. Nåværende instruks er i for stor grad fokusert på flomdemping. Forslag utarbeides i løpet av 1992.
 - Ekstra sett nåler lagres ved dammen slik at en ved åpning av nåleløp kan la nålene gå i vassdraget og fortsatt ha mulighet for senere under flommen å stenge nåleløpet. Gjennomføres i løpet av 1993.

- Det gjennomføres en vurdering av adkomsten til dammen ved de viktigste bekke- og elvekrysningene med sikte på å forbedre adkomstmulighetene under flom. Gjennomføres i 1992.
- Det tas med som en årlig rutine å oppsummere erfaringene med betjening av flomorganene. Gjennomføres f.o.m. 1992, hvor en også tar med de viktigste erfaringene fra tidligere år.
- Funksjonssikkerhetsrapporten vurderes nærmere med sikte på evt. gjennomføring av andre tiltak. Gjennomføres i løpet av 1992.

FORSLAG TIL BEREGNINGS- REGLER FOR FLOMLØP MED SJAKT/TUNNEL

1 Dimensjonering

Beregninger og modellforsøk skal baseres på ugunstig antatte hydrauliske parametre slik det er nærmere angitt i pkt. 4.

Som grunnlag for dimensjonering vil en alltid kun ha tegning med teoretiske mål.

En kan imidlertid basere dimensjoneringen på et antatt gjennomsnittlig utsprengt tverrsnitt større enn det teoretiske tverrsnitt. Det skal i så fall dokumenteres at dette tverrsnitt med en viss grad av sikkerhet kan forventes, og det skal dokumenteres med profiler av utsprengt virkelig tverrsnitt i etterhånd. Dersom virkelig gjennomsnittlig utsprengt tverrsnitt er mindre enn forutsatt ved dimensjoneringen, må tverrsnittet strösses.

- **Q-1000**

Ved dimensjonering av nye anlegg skal tunnel/sjakt gis slik utforming at en ved dimensjonerende avløpsflom (Q-1000) har sikker frispellstrømning gjennom systemet. Dette bør også tilstrebes ved utvidelse av eksisterende anlegg.

Med sikker frispellstrømning forstås følgende:

- Det teoretiske vannverrsnitt skal kun normalt oppta maksimum 80% av totalt tverrsnitt

- **PMF**

Tunnel/sjakt skal gis slike dimensjoner at ved PMF skal vannstanden i magasinet sikkert være bestemt av overløpsterskelen foran tunnel-/sjaktsystemet. Dette krav kan betraktes oppfylt dersom vannstanden på nedstrøms side av overløpsterskelen ikke overstiger en tredjedel av overløpshøyden.

Kapasiteten av systemet nedstrøms for overløpsterskelen skal ved denne strømningssituasjon minst være $PMF/0,8$.

2 Beregning av magasin vannstand

En slik beregning av magasin vannstander er en 3 delte beregningsoperasjon for både Q-1000 og PMF.

- Fastlegging av innløpshydrogram
- Fastlegging av kapasitet for flomløp som funksjon av magasin vannstand.
- Beregning av flomdemping i magasinet (ruting)

Innløpshydrogram

Innløpshydrogram for flomlastene Q-1000 og PMF fastlegges etter standard hydrologiske metoder på samme måte som for andre typer flomløp.

Kapasitetskurve

Kapasitetskurve for flomløpet vil for nedre del av vannstandsområdet være hydraulisk bestemt av overløpsterskelen. Denne del av kapasitetskurven bestemmes på samme måte som ved et normalt fast overløp (sannsynlig overløpskapasitet).

Den øvre delen av kapasitetskurven vil hydraulisk være bestemt av forholdene nedstrøms for terskelen. Ved fastlegging av denne del av kapasitetskurven skal en basere seg på ugunstig antatte hydrauliske parametre slik det er nærmere angitt i pkt.4.

Kapasiteten skal videre reduseres med faktor 0,7 for Q-1000 og 0,8 for PMF.

Magasin vannstander

Magasin vannstander beregnes ved ruting som for andre flomtyper med de reduserte flomløpskapasiteter som angitt ovenfor.

3 Beregning av avløpsflommer

Beregning av avløpsflommer skjer på samme måte som beskrevet for beregning av magasin vannstander, men med dristige hydrauliske forutsetninger for tunnel/sjakt som angitt i pkt. 4, og uten bruk av reduksjonsfaktor for flomløpskapasiteten.

Beregnete avløpsflommer benyttes for erosjonsvurderinger i flomløpets vannvei, og for flomberegninger videre nedstrøms.

4 Beregningsforutsetninger

Beregningsforutsetningene skal fastlegges med basis i det grunnlag som foreligger, og det velges ugunstig ut i fra usikkerheten i dette grunnlaget.

Ved vurdering av eksisterende anlegg bør anlegget alltid befares av den som utfører beregningen, og det bør foreligge profiler av utført anlegg, eller en kontroll som dokumenterer at det virkelige tverrsnitt minst er lik det teoretiske.

Det er mange parametre som vil kunne være usikre ved et anlegg, men valg av ugunstige og gunstige beregningsforutsetninger bør begrenses til et utvalg av disse.

Friksjonstap: Tverrsnitt og Mannings tall.

Singulærtap : Tverrsnitt og tapskoeffisient.

Usikkerheten i de øvrige parametre må dermed tas opp i det variasjonsvalg som gjøres for de utvalgte parametre.

Luft bør kunne transporteres gjennom sjakt-/tunnelsystem i en blanding med vannet og separat i systemets øvre tverrsnittsdeler.

Overslag over luftmengder bør gjennomføres av hensyn til friskeil-kapasitetsvurderinger, men en bør også klarlegge flomsystemets virkemåte vedrørende luft i de mer vanlige situasjoner med vannføringer under dimensjonerende flom.

Grunnlag: Arbeidstegning

■ Friksjonstap

Ved fastleggelse av Mannings tall M og tunnel-/sjakttverrsnitt F anbefales at en tar utgangspunkt i de data som er samlet om disse forhold i Norge.

Det bør forutsettes at friksjonsforhold i flomtunneler er dårligere enn i driftstunneler.

For flomsjakter bør det forutsettes både dårligere friksjonsforhold og mindre overmasser enn ved driftstunneler.

Valg av M og F bør betraktes som et valg som samlet skal gi et beregningsmessig falltap som med sikkerhet ligger til den side en ønsker.

- For tunnel med $F_{\text{teor}} = 25\text{m}^2$ anbefales:
Forsiktig: $F = 25\text{m}^2$, $M = 28$
Dristig: $F = 31\text{m}^2$, $M = 35$
- For tunnel med $F_{\text{teor}} = 50\text{m}^2$ anbefales:
Forsiktig: $F = 50\text{m}^2$, $M = 28$
Dristig: $F = 58\text{m}^2$, $M = 35$
- For sjakt med $F_{\text{teor}} = 15\text{m}^2$ anbefales:
Forsiktig: $F = 15\text{m}^2$, $M = 26$
Dristig: $F = 18\text{m}^2$, $M = 35$
- For sjakt med $F_{\text{teor}} = 30\text{m}^2$ anbefales:
Forsiktig: $F = 30\text{m}^2$, $M = 26$
Dristig: $F = 35\text{m}^2$, $M = 35$

■ Singulærtap

For beregning av singulærtap benyttes teoretiske tverrsnitt og energitapsformler som finnes i hydraulisk litteratur. En bør anse at slike formler angir sannsynlige verdier, og regne med 10% mindre verdi når en regner dristig og 10% større verdi når en regner forsiktig.

Når en regner dristig bør en også regne med større tverrsnitt enn teoretisk, slik som ved fastlegging av friksjonstap.

Typiske singulærtapskoeffisienter som finnes i hydraulisk litteratur er følgende:

bend: $K = 1,1 (\alpha/90)^2$

brå utvidelse: $K = (1 - A1/A2)^2$

Singulærtap ved selve sjaktinnløpet vil kunne variere mye avhengig av utformingen på innløpet.

I det normale tilfelle vil vannstrømmen før sjaktinnløpet ha en strømningsretning som i grove trekk faller sammen med sjaktrretningen. I slike tilfelle kan en sette $K = 0,1 - 0,3$.

Dersom tilstrømmingen kommer fra flere kanter bør en regne noe høyere verdier, $K = 0,2 - 0,5$.

Ved helt spesiell ugunstig hydraulisk utforming bør en "forsiktig" sette $K = 1,0$.

Grunnlag: Oppmålte profiler og befaring

■ Friksjonstap

Tverrsnitt kan bestemmes på grunnlag av oppmålte profiler. Som både "forsiktig" og "dristig" forutsetning kan benyttes $F =$ beregnet gjennomsnittlig tverrsnitt.

Ved tunnel-lengder over 200 m kan falltapkoeffisient bestemmes på grunnlag av oppmålte profiler. Som "forsiktig" forutsetning anbefales $M = 0,95 \times$ beregnet M -verdi og som "dristig" forutsetning anbefales $M = 1,05 \times$ beregnet M -verdi.

Ved tunnel-lengder under 200 m anbefales å benytte M -verdier som angitt ved grunnlag arbeidstegning.

Modellforsøk

Ved modellforsøk vil en kunne få bedre grunnlag for å fastlegge strømningsforhold og tap ved sjaktinnløp og i flomløpsrenne mellom sjaktinnløp og overløpsterskel.

Også for fastlegging av singulærtap i sjakt-/tunnelsystem vil modellforsøk kunne gi et sikrere grunnlag.

Bruk av modellforsøk gir ikke sikrere grunnlag enn beregninger hva gjelder friksjonstap. Fastleggelse av friksjonstap må skje med basis i de anbefalinger vedrørende F og M som er anført for beregninger. I tillegg må en ved modellforsøket kompensere for de særegne usikkerheter som er knyttet til modellforsøket.

Innløpstap og øvrige singulærtap kan fastlegges med basis i modellforsøksresultater. En skal benytte verdier som er på den sikre siden av et usikkerhetsområde.

Fastlagte kapasiteter skal reduseres med de anbefalte reduksjonsfaktorer.

Det skal ikke benyttes kapasiteter som forutsetter undertrykk i deler av rørstrømningen. Innløp bør modelleres også uten nedenforliggende sjakt og tunnel.

5 Strømningssituasjoner

Strømningssituasjonen i sjakt/tunnel vil endre seg avhengig av vannføring og magasin vannstand, og kapasitetsfastleggingen skal ta utgangspunkt i den reelle situasjonen.

Det må ved beregninger klarlegges kapasiteter forutsatt ulike strømningssituasjoner og den minste kapasitet må velges.

Det skal ved beregning eller modellforsøk normalt ikke regnes med kapasiteter hvor undertrykk i deler av rørstrømningen medvirker til kapasiteten.

De enkelte strømnings-situasjonene som kan oppstå kan i hovedtrekk oppsummeres slik:

1. Rørstrømning i hele sjakt og tunnel.
Vannstand i nedstrøms kanal eller elveleie bestemmer den totale fallhøyde for rørstrømning.
2. Rørstrømning i hele sjakt og tunnel.
 - Nivå på heng ved tunnelutløp bestemmer totale fallhøyder for rørstrømning.

- 2a. Rørstrømning i hele sjakt og det meste av tunnel.
 - Kritisk vanndybde ved tunnelutløp bestemmer totale fallhøyde.
 - Denne situasjonen kan ved en tilnærming beregnes som situasjon 2.
3. Rørstømning i sjakten.
 - Frispeilstrømning i tunnel.
 - Nivå for heng ved sjaktutløp bestemmer total fallhøyde for rørstrømning.
4. Dykket sjaktinnløp.
 - Frispeilstrømning i sjakt og tunnel.
 - Nivå for heng ved sjaktinnløp bestemmer total fallhøyde.
 - Ved traktformet innløp må situasjonen undersøkes ved flere snitt i innløpet.
 - Strømningssituasjonen vil i realiteten kunne være ustabil og veksele med frispeilstrømning i innløpet.
5. Frispeilstrømning i sjaktinnløp.
 - Kritisk snitt ved sjaktinnløp er bestemmende
6. Frispeilstrømning i sjaktinnløp.
 - Kritisk snitt ved flomløpsrennekant mot sjaktinnløp er bestemmende.

Det er spesielt viktig at det blir vurdert hvorvidt sjaktinnløpet eller flomløpsrennetverrsnittet er kapasitetsbestemmende. (Situasjonene 4, 5 eller 6). Det er grunn til å anta at ved flere av våre eksisterende anlegg er dette tilfelle uten at det er lagt til grunn ved kapasitetsfastleggingen.

Ved situasjonene 4, 5 og 6 er det også spesielt viktig å vurdere falltapet i flomløpsrenne.

For å etablere sammenhengen mellom vannføring og magasinvannstand, må tapene mellom flomløpsrennekant og magasin anslås. Disse tap består av tapene i flomløpsrenne og over terskel.

For anlegg som kun har flomløpsrenne og tunnel vil strømnings-situasjonene kunne være de samme, men med unntak for nr.3 og nr. 6. Også for slike anlegg vil vi peke på muligheten av at de innløpsbestemmende situasjonene (4 og 5) ikke er vurdert ved kapasitetsfastlegging.

UNDERSØKELSE OM KAPASITETER VED EKSIST- ERENDE SJAKT-/TUNNEL- FLOMLØP

Prosjektet har gjennomført en gjennomgang av nye flomberegninger utført etter 1981, tidligere utførte flomberegninger og kapasiteter ved overløpet for et utvalg anlegg. Dette har gitt følgende konklusjoner:

- Flomstørrelser (Q-1000 og PMF) beregnet i perioden etter 1985 er større enn flomstørrelser beregnet før 1985.

Dette fremgår av tabell 1 og 2. Bakgrunnen for dette forhold er at dagens flomberegningsmetodikk ikke var detaljert utformet tidlig i 1980 årene. Dette gjaldt især PMF-beregningene.

Tabell 1:

$K_1 = Q-1000/\text{oppr. dim. flom}$

	Beregninger utført i periode	
	FØR 1985	ETTER 1985
Maks verdi	1,58	1,94
75% percentil	1,30	1,55
median	1,05	1,35
25% percentil	1,00	0,90
Min. verd	0,90	0,78
Middelverdi	1,14	1,31
Antall anlegg	11	10

Tabell 2:

$K_2 = \text{PMF}/\text{Oppr. dim. flom}$

	Beregninger utført i periode	
	FØR 1985	ETTER 1985
Maks verdi	2,00	3,64
75% percentil	1,7	2,8
median	1,4	2,3
25% percentil	1,3	1,8
Min. verdi	1,27	1,33
Middelverdi	1,58	2,33
Antall anlegg	11	10

- For flomanalyser utført etter dagens praksis viser det seg at PMF normalt utgjør 1.5-2.0 ganger Q-1000 (avløpsflommer). Ekstreme tilfelle kan imidlertid komme opp i et forhold lik 2.5. Det vises til tabell 3 og 4.

Tabell 3

 $K_3 = \text{PMF}/\text{Q}-1000$

	Beregninger utført i periode	
	FØR 1985	ETTER 1985
Maks verdi	1,75	2,42
75 % percentil	1,5	1,9
Median	1,3	1,7
25 % percentil	1,2	1,6
Min. verdi	1,16	1,52
Middelverdi	1,39	1,78
Antall anlegg	14	11

Tabell 4:

 $K_5 = \text{PMF}/\text{Q}-1000$ (tilløpsflom)

 $K_6 = \text{Q}-1000/\text{QM}$
 $\text{QM} =$ Gjennomsnittlig største årlige flom.

	QM L/S.km ²	K6	K5
Maks verdi	1250	4,2	3,2
75% percentil	530	3,2	2,3
median	440	3,0	2,0
25% percentil	280	2,5	1,8
Min. verdi	110	2,0	1,2
Middelverdi		2,95	2,06

■ Opprinnelig teoretisk kapasitet på det lukkede avløp varierer mellom 1 – 1,75 ganger opprinnelig dim. flom, og med en gjennomsnittlig verdi lik 1,26 ganger opprinnelig dim. flom.

35% av anleggene var konstruert uten overkapasitet på sjakt-/tunnelsystemet, dvs. at kapasitet var lik opprinnelig beregnet dim. flom. Det vises til tabell 5.

Tabell 5:

 $K_4 =$ Teor. kapasitet sjakt/
tunnell/Oppr. dim. flom

Maks verdi	1,74
75% percentil	1,4
Median	1,2
25% percentil	1,0
Min. verdi	1,00
Middelverdi	1,26
Antall anlegg	11

For tabell 1,2,3 og 5 er data hentet fra anlegg med sjakt-/tunnelflumløp. Sammenlikning er gjort for avløpsflommer uten evt. struping av sjakt/tunnel.

For tabell 4 er data hentet fra 49 flomanalyser utført etter 1985.

INTERNASJONAL DAMBRUDDSTATISTIKK

Dambruddstatistikk er samlet gjennom det arbeid som pågår i den internasjonale komité for store dammer (ICOLD) og i de enkelte nasjonale komiteer.

Grunnlagsmateriale og tolking av dette finnes bl.a. i referansene (1), (2) og (3).

I ICOLD's damsikkerhetskomité pågår for tiden arbeidet med en revidert dambruddstatistikk, og et foreløpig utdrag av dette arbeid er presentert i (4).

I prosjekt damsikkerhet har vi vurdert internasjonal dambruddstatistikk for å se hva de kan fortelle oss om risikonivået ved våre norske dammer.

1 Hva statistikkene omfatter

ICOLD-statistikk omfatter i hovedsak dammer over 15 m, men også dammer høyere enn 10 m og med større magasin enn 1 mill. m³ kan være medtatt.

I ICOLD-statistikkene har en behandlet to hovedkategorier av ulykker.

- Dambrudd (failure)
Tilfelle hvor dammen bryter sammen og magasinet strømmer ut.
- Alvorlig uhell (accident)
Tilfelle hvor dambrudd sannsynligvis hadde skjedd hvis ikke magasinet var blitt tappet ned eller andre forholdsregler var blitt tatt.

I Kina finnes idag omtrent halvparten av verdens ICOLD-dammer, men i de vurderinger vi har gjort har vi ikke tatt med opplysninger om dambrudd i Kina. Grunnen til dette er at det foreligger meget få opplysninger om dambrudd i Kina. Det som blir benevnt som verdensstatistikk er dermed ekskl. Kina.

2 Historisk risiko

Fortegnelsene over dambrudd og dammer viser at hyppigheten av dambrudd har vært avhengig av følgende hovedfaktorer:

Dammens byggeår

Hyppigheten av dambrudd ved moderne dammer er ca 1/10 av den hyppighet en hadde for dammer bygget omkring år 1900 (tabell 1 og 4).

Dammens geografiske beliggenhet

Hyppighet av dambrudd er gjennomgående mindre i Europa enn i verden totalt.

Dette gjelder stort sett alle byggeperioder og både for fyllingsdammer og betongdammer. Unntak er betongdammer bygget etter 1950. For det

utvalg av dammer som Norge har er den registrerte dambruddhyppighet i Europa ca 50% av tilsvarende for hele verden.

Av andre geografiske områder er USA et område med høy dambruddhyppighet og Japan et område med lav dambruddhyppighet (lavere enn Europa).

Damtype

Hyppighet av dambrudd har vært større for fyllingsdammer enn for betongdammer (tabell 1 og 4).

Blant betongdammene har massivdamtypen minst bruddhyppighet.

En kan også merke seg at et relativt stort antall av "betongdambruddene" egentlig er dammer murt av stein (Masonry).

Dammens alder

En meget stor andel av dambruddene har skjedd i løpet av en dams fem første år. For fyllingsdammer er forventet andel ca. 42 %, mens for betongdammer er forventet andel ca. 65 %, av de forventede brudd i løpet av dammens første 100 leveår (tabell 2 og 3).

3 Dambruddhyppighet i Norge

Basert på det registrerte risikonivået i Europa (tabell 1) har vi beregnet det forventede antall dambrudd i Norge for perioden 1890-1986 og fått til resultat 0,73 dambrudd (tabell 5).

I ICOLD-statistikk blir også alvorlige uhell registrert, og for hvert dambrudd skjer i gjennomsnitt 1,3 alvorlige uhell. Forventede brudd og alvorlige uhell i Norge skulle dermed utgjøre $2,3 \times 0,73 = 1,68$.

I Norge har vi registrert 0 dambrudd og 0 alvorlige uhell.

Med et forventningstall lik 1,68 er det 19% sannsynlighet for å registrere 0 slik vi har gjort i Norge, og den statistiske sannsynlighet for at vi har lavere gjennomsnittrisiko ved norske dammer i forhold til Europa er 81%. Det er videre 50% sannsynlig at bruddrisikoen i Norge er lavere enn 50% av risikoen i Europa.

Forventet årlig risiko for dambrudd i Norge

Med basis i de registrerte dambruddtilfeller kan en beregne en årlig risiko for dambrudd i dag eller i fremtiden.

En slik beregning vil bygge på en anslått totalrisiko avhengig av damtype og byggeår (tabell 4) og en årlig fordeling av risikoen (tabell 5).

Vi har foretatt en slik beregning av dagens risiko for dambrudd ved våre norske dammer og resultatet er $p = 1,2 \times 10^{-2}$ pr år forutsatt at risikonivået i Norge er som i Europa (tabell 6). Sannsynligvis er risikonivået i Norge mindre enn det europeiske nivået.

Det bør understrekes at vurderingene kun er basert på hva en kan trekke ut av et statistisk materiale, og at en ikke har foretatt noen vurderinger av norske dammers sikkerhet i forhold til Europa eller verden for øvrig basert på sammenlikninger av naturgitte forhold, kvalitet på damutførelse eller forskjeller i forskrifter, dimensjoneringsmetoder o.l.

Med 0 registrerte dambruddtilfeller og med i alt 255 ICOLD-dammer har Norge er meget god dambruddstatistikk (tabell 7).

4 Dambruddårsaker

Den mest aktive byggeperiode for dammer i Norge er forbi, og det kan derfor synes mest interessant å se på hvilke bruddårsaker som er de vanligste for dammer som er noen år gamle. Dambruddstatistikk forteller at brudd for dammer eldre enn 15 år er knyttet til to hovedårsaker:

- Overtopping (betong og fyllingdammer)
- Lekkasje (fyllingsdammer)

Fundamentsvikt er også en meget fremtredende bruddårsak, men denne type brudd skjer stort sett for betongdammer før de er 5 år, og for fyllingdammer før de er 15 år.

5 Henvisninger

- (1) Lessons from dam Incidents (ICOLD 1974)
- (2) Lessons from dam Incidents, USA (ASCE/USCOLD 1975)
- (3) Safety of Existing Dams (National Academy press 1983)
- (4) Statistics of dam failures, a preliminary report (Water Power and Dam Construction, April 1989)

6 Tabeller

BYGGEPERIODE	Verden ekskl. Kina			Europa		
	FØR 1900	1900-1950	ETTER 1950	FØR 1900	1900-1950	ETTER 1950
DAMTYPE						
Fyllingsdammer	7,9	1,69	0,32	2,9	1,05	0,24
Betongdammer	3,9	0,95	0,14	2,4	0,52	0,21
Alle dammer	6,4	1,41	0,28	2,6	0,63	0,22

Tabell 1:
Registrert dambruddtilfelle i % av bygde dammer

	Fyllingsdammer			Betongdammer		
	FØR 1900	1900-1950	ETTER 1950	FØR 1900	1900-1950	ETTER 1950
0-5 år	32%	50%	71%	57%	73%	100%
5-20 år	24%	25%	29%	29%	7%	0
20-50 år	24%	13%	0	14%	13%	0
50-100 år	20%	12%	0	0	7%	0

Tabell 2:
Registrerte dambruddstilfeller.
Fordeling etter dammens alder.

	Betongdammer		Fyllingsdammer	
	PR. PERIODE	PR. ÅR	PR. PERIODE	PR. ÅR
0-5 år	65,0 %	13,0 %	42,0 %	8,4 %
5-20 år	19,0 %	1,3 %	23,0 %	1,5 %
20-50 år	10,0 %	0,3 %	20,0 %	0,7 %
50-100 år	6,0 %	0,1 %	15,0 %	0,3 %

Tabell 3:
Forventet dambruddtilfelle
Forventet fordeling etter
dammens alder

BYGGEPERIODE:	VERDEN EKSKL. KINA			EUROPA		
	Før 1990	1900–1950	Etter 1950	Før 1900	1900–1950	Etter 1950
DAMTYPE						
Fyllingsdammer	7,9	1,99	0,49	2,9	1,24	0,37
Betongdammer	3,9	1,01	0,17	2,4	0,55	0,25
Alle dammer	6,4	1,62	0,42	2,6	0,69	0,29

Tabell 4:
Forventet dambruddsrisiko (% av
bygde dammer) i løpet av 100 års
levetid (tabell 1 er justert)

DAMTYPE OG BYGGEPERIODE	ANTALL DAMMER > 15 M	HISTORISK EUROPEISK BRUDD- HYPPIGHET I %	FORVENTET ANTALL BRUDD
Betongdam før 1900	1	2,4 %	0,024
Fyllingsdam før 1900	0	2,9 %	0
Betongdam 1900-1950	42	0,52 %	0,218
Fyllingsdam 1900-1950	3	1,05 %	0,031
Betongdam 1950-1986	70	0,21 %	0,147
Fyllingsdam 1950-1986	129	0,24 %	0,310
Sum	245		0,730

Tabell 5:
Forventede dambrudd
i Norge 1890–1986

DAMTYPE OG BYGGEPERIODE	BRUDDHYPPIGHET I LØPET AV 100 ÅR. %	ÅRLIG ANDEL AV BRUDD (1990). %	ANTALL DAMMER	ÅRLIG RISIKO 10 ⁻⁴
Betongdam før 1900	2,40	0,1	1	0,2
Fyllingdam før 1900	2,90	0,3	0	0
Betongdam 1900-1950	0,55	0,1	42	2,3
Fyllingsdam 1900-1950	1,24	0,3	3	1,1
Betongdam 1950-1970	0,25	0,3	61	4,6
Fyllingsdam 1950-1970	0,37	0,7	53	13,7
Betongdam 1970-1985	0,25	1,3	12	3,9
Fyllingsdam 1970-1985	0,37	1,5	70	38,9
Betongdam etter 1985	0,25	13,0	5	16,2
Fyllingsdam etter 1985	0,37	8,4	12	37,3
Sum			259	116,2

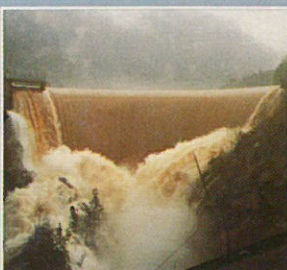
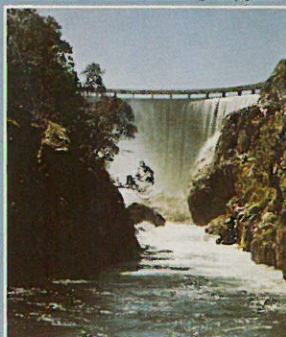
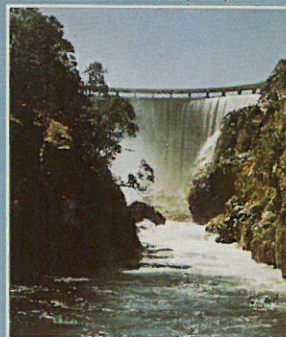



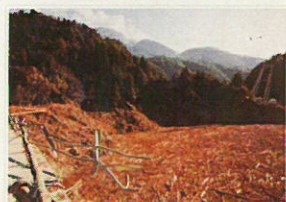

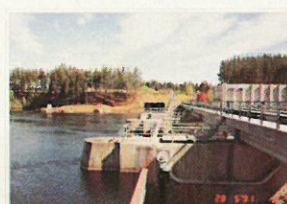
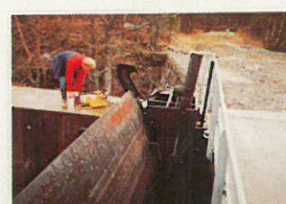
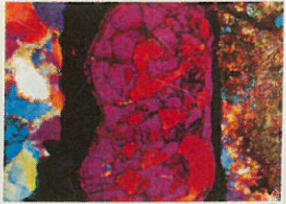
Tabell 6:
Beregning av årlig risiko for dambrudd i Norge (1990)

Årlig risiko lik $1,2 \times 10^{-2}$ for dambrudd i Norge (> 15 m) forutsetter risikonivå i Norge som Europa-gjennomsnittet. Det er sannsynlig at risikonivået i Norge er mindre.

LAND	ALLE DAMMER			DAMMER BYGGET ETTER 1950		
	Antall dammer	Antall dambrudd	Hypighet	Antall dammer	Antall dambrudd	Hypighet
Spania	737	7	1,0%	532	3	0,6%
Storbritania	535	6	1,1%	157	0	–
Frankrike	468	2	0,4%	304	1	0,3%
Italia	440	3	0,7%	241	1	0,4%
Norge	245	0	–	199	0	–
Vest-Tyskland	191	0	–	126	0	–
Tsjekkoslovakia	146	1	0,7%	99	0	–
Sveits	144	0	–	104	0	–
Sverige	141	2	1,4%	110	1	0,9%
Romania	133	0	0	128	0	–
Østerrike	123	0	–	93	0	–
Jugoslavia	123	1	0,8%	111	1	0,9%
Europa	4215	22	0,5%	2892	7	0,2%
USA	5459	81	1,5%	3908	12	0,3%
Japan	2228	4	0,2%	1055	1	0,1%
Resten av verden eks. Kina	5513	27	0,5%	4300	18	0,4%
Verden eks. Kina	17415	134	0,8%	12155	38	0,3%

Tabell 7:
Dambruddtilfelle i enkelte europeiske land og områder i verden (ICOLD-dammer)

Utgitte rapporter

<p>Prosjekt damsikkerhet Hovedrapport Desember 1992</p>  <p>Prosjektansvarlige: NVE Tilsyn- og beredskapsavdelingen (NVE-T) Vassdragsregulantenenes Forening (VR)</p>	<p>Prosjekt damsikkerhet Sammendragsrapport Desember 1992</p>  <p>Prosjektansvarlige: NVE Tilsyn- og beredskapsavdelingen (NVE-T) Vassdragsregulantenenes Forening (VR)</p>	<p>Dam Safety Summary Report December 1992</p>  <p>Norwegian Water Resources and Energy Administration Water System Management Association NORWAY</p>	
<p>Prosjekt damsikkerhet Rapport nr. 1 Mai 1991</p>  <p>Ingeniør Chr. F. Graner a.s. Aldring og sikkerhet av betongdammer</p> <p>Prosjektansvarlige: NVE Tilsyn- og beredskapsavdelingen (NVE-T) Vassdragsregulantenenes Forening (VR)</p>	<p>Prosjekt damsikkerhet Rapport nr. 2 Desember 1991</p>  <p>Berdal Strømme a.s. - Grøner Anlegg Miljø a.s. Beredskapsplanlegging for unormale situasjoner</p> <p>Prosjektansvarlige: NVE Tilsyn- og beredskapsavdelingen (NVE-T) Vassdragsregulantenenes Forening (VR)</p>	<p>Prosjekt damsikkerhet Rapport nr. 3 Januar 1992</p>  <p>Norges Geotekniske Institutt Sikkerhet av fyllingsdammer mot lekkasjebrudd</p> <p>Prosjektansvarlige: NVE Tilsyn- og beredskapsavdelingen (NVE-T) Vassdragsregulantenenes Forening (VR)</p>	<p>Prosjekt damsikkerhet Rapport nr. 4 Februar 1992</p>  <p>Sintefl NHL Tilstopping av flomløp</p> <p>Prosjektansvarlige: NVE Tilsyn- og beredskapsavdelingen (NVE-T) Vassdragsregulantenenes Forening (VR)</p>
<p>Prosjekt damsikkerhet Rapport nr. 5 Mai 1992</p>  <p>Norges Geotekniske Institutt - Sintefl NHL Overtopping av tetningskjernen i fyllingsdammer</p> <p>Prosjektansvarlige: NVE Tilsyn- og beredskapsavdelingen (NVE-T) Vassdragsregulantenenes Forening (VR)</p>	<p>Prosjekt damsikkerhet Rapport nr. 6 Del I Mai 1992</p>  <p>Nybro-Bjerk a.s. Funksjonssikkerhet ved flomluker</p> <p>Prosjektansvarlige: NVE Tilsyn- og beredskapsavdelingen (NVE-T) Vassdragsregulantenenes Forening (VR)</p>	<p>Prosjekt damsikkerhet Rapport nr. 6 Del II Mai 1992</p>  <p>Berdal Strømme a.s. Funksjonssikkerhet ved flomluker</p> <p>Prosjektansvarlige: NVE Tilsyn- og beredskapsavdelingen (NVE-T) Vassdragsregulantenenes Forening (VR)</p>	<p>Prosjekt damsikkerhet Rapport nr. 7 November 1992</p>  <p>Grøner Anlegg Miljø a.s. - Sintefl FCB Alkalireaksjoner i betongdammer</p> <p>Prosjektansvarlige: NVE Tilsyn- og beredskapsavdelingen (NVE-T) Vassdragsregulantenenes Forening (VR)</p>

Norges vassdrags- og energiverk
 Postboks 5091, Maj
 0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
 Telefax: 22 95 90 00

Vassdragsregulantenenes Forening
 Postboks 145
 1371 Asker

Telefon: 66 78 00 65
 Telefax: 66 79 51 03